

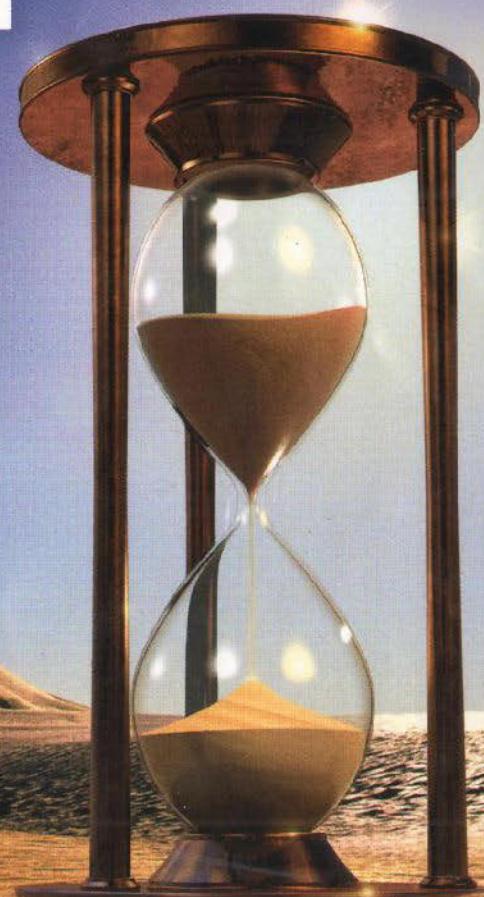
GEO kompakt

Nr. 27

Die Grundlagen des Wissens

Das Rätsel ZEIT

- Wie Physiker das Phänomen Zeit erklären
- Weshalb sich der Takt des Lebens beschleunigt
- Wie das Gehirn Zeit misst und archiviert



ISBN 978-3-612-00024-6
4 196472 308501

www.GEOkompakt.de

BIORHYTHMUS
Wie die Zyklen der Natur
das Leben prägen

KALENDER
Als die Menschen lernten,
die Zeit zu zählen

GEOLOGIE
Wo die Erde ihre
Geschichte archiviert

AMNESIE
Der Mann, dessen Leben alle
paar Minuten neu beginnt

Lässt sich nicht erzwingen, lässt sich aber erklären: **Glück.**

GEO WISSEN
DIE WELT VERSTEHEN

www.geo-wissen.de

GLÜCK
ZUFRIEDENHEIT
SOUVERÄNITÄT



GROSSER TEST
„WIE HOCH IST
IHRE LEBENS-
QUALITÄT?“

TEST
Wie zufrieden sind Sie
mit Ihrem Leben?

PSYCHOLOGIE
Ist Optimismus
erlernbar?

BIOLOGIE
Wie das Glück im
Kopf entsteht

SELBSTWERT
Der Weg zur
Souveränität



Liebe Leserin, lieber Leser,

die Zeit bestimmt das Leben des Menschen wie keine andere Größe. Fast alle Bürger der westlichen Welt sind in ein festes Terminkorsett eingebunden: Sie leben nach der Uhr, arbeiten in festgelegten Zyklen – und haben das Gefühl, dass sich der Takt ihrer Existenz immer weiter beschleunigt.

Doch der Einfluss, den die Zeit auf uns hat, geht noch viel tiefer. Ohne Zeit nämlich gäbe es uns und die Welt gar nicht: Nichts könnte sich entwickeln, nichts sich verändern. Kein Lebewesen wäre entstanden, und die Evolution hätte kein Gehirn hervorgebracht, das darüber nachdenken könnte. Eine Welt ohne Zeit wäre wie ein eingefrorenes, dreidimensionales Bild. Kein Reflektieren wäre möglich, denn auch geistige Tätigkeit ist nichts anderes als die Aneinanderreihung von Gedankeninhalten, eine Verknüpfung von Erinnerungen und Ideen – also eine Abfolge von Prozessen, die Zeit benötigen.

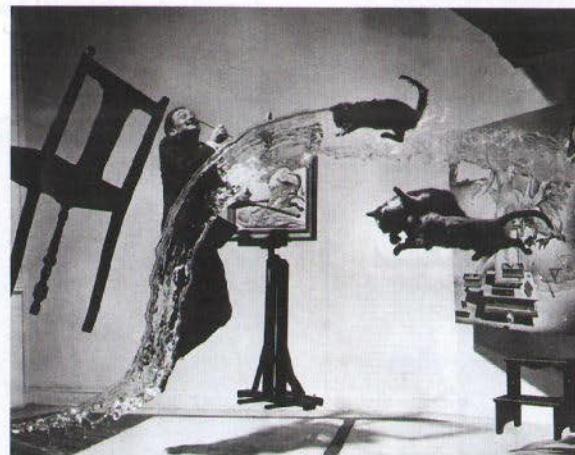
Selbst den begnadetsten Wissenschaftlern aber ist es bis heute nicht möglich, genau zu erklären, was Zeit im physikalischen Sinn ist. Seit Albert Einstein seine Relativitätstheorie veröffentlicht hat, wissen sie zwar, dass Raum, Zeit und Materie miteinander verbunden sind. Und die Wissenschaft hat erkannt, dass Zeit relativ ist und unterschiedlich schnell vergehen kann und dass etwa die Anziehungskraft

eines riesigen Himmelskörpers die Zeit verlangsamt. Doch letztlich bleibt das Phänomen rätselhaft – und es gibt sogar Physiker, die die Zeit überhaupt für eine Illusion des menschlichen Geistes halten.

Hirnforscher wiederum haben schon recht viel darüber herausgefunden, wie unsere Zeitwahrnehmung entsteht – so ist „Gegenwart“ ein drei Sekunden langer Abschnitt, in dem unser Gehirn alle Ereignisse bündelt. Und Biologen haben entdeckt, wie die Vergangenheit im Hirn abgespeichert wird und welche dramatischen Folgen es hat, wenn Teile unseres Gedächtnisses nicht mehr richtig funktionieren: Dann kann es vorkommen, dass ein Mensch ewig in der Gegenwart gefangen und seiner Vergangenheit beraubt ist.

Die Zeit bleibt ein seltsames Phänomen – und etwas, das Menschen äußerst unterschiedlich wahrnehmen. Doch wir alle leben in diesem immerwährenden Fluss der Ereignisse, haben uns Kalender erdacht und Uhren konstruiert, um uns in diesem Strom zurechtzufinden und unser Leben zu strukturieren. Denn ohne eine Zeiteinteilung könnte der *Homo sapiens* sein Leben nicht organisieren: Das galt für die Sammler und Jäger der Steinzeit, die die Jahreszeiten, den Rhythmus der Tierwanderungen sowie die Vermehrungszyklen von Pflanzen kennen mussten, das gilt heute noch für die Büromenschen, die ohne Uhr und Terminkalender keine effektive Arbeit leisten können.

Nach wie vor bleibt die Zeit eines der größten Rätsel. Wir alle sind ihr ausgeliefert – und würden doch ohne sie nichts erleben und gestalten können.



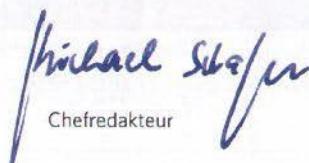
Eingefrorener Moment im Leben des Surrealisten Salvador Dalí: mit einem Schwall Wasser und fliegenden Katzen von Philippe Halsman inszeniert

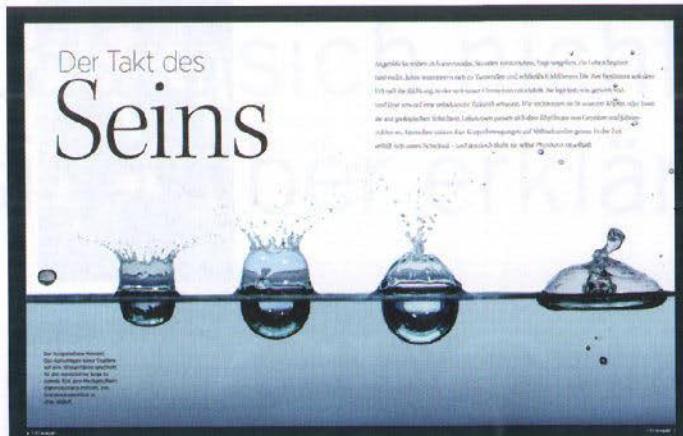


GEOkompakt-Redakteur
Dr. Henning Engeln war
für das Konzept dieser
Ausgabe zuständig

Herzlich Ihre


Heftredakteur


Chefredakteur



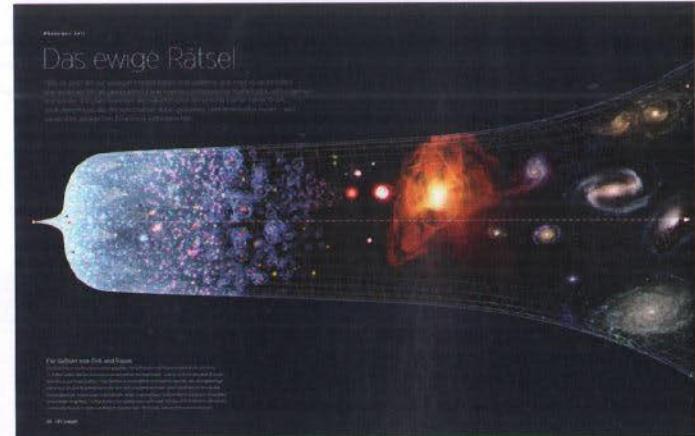
006 Was ist Zeit? Eine Aneinanderreihung kürzester Momente, eine Illusion des Gehirns oder ein nicht begreifbares Phänomen?



044 Schneeflocken, einst Schicht auf Schicht gefallen und zu Eis gepresst, haben sich in eine Chronologie des Erdklimas verwandelt.



104 Der Schreiner John Harrison entwickelte im 18. Jahrhundert die exakteste Uhr und löste damit ein großes nautisches Problem.



020 Eine Reise in die bizarre Welt Einsteins, in der die Zeit mit dem Raum verschmilzt und die Uhren unterschiedlich ticken.



052 Innere Uhren helfen Organismen, zur rechten Zeit das richtige zu tun – etwa zu blühen – und sich den Zyklen der Natur anzupassen.



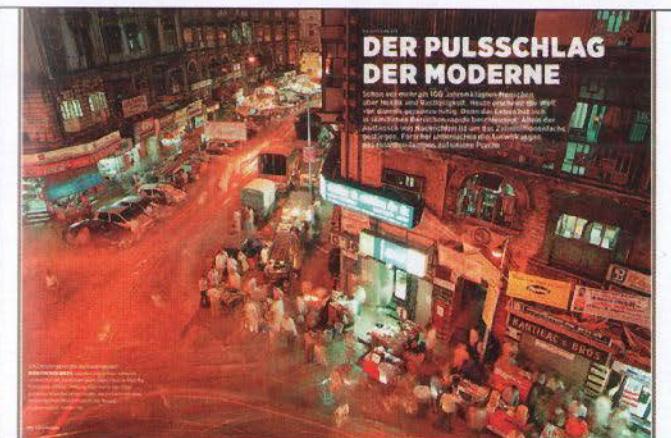
094 Andere Länder, andere Zeiten: Für viele Völker ist nicht das Ticken einer Uhr Maßstab, sondern etwa das Zeitgefühl ihres Viehs.



034 Mit hochkomplexen Atomuhren ermitteln Braunschweiger Physiker die präzise Zeit – und steuern auch Deutschlands Uhren.



066 Forscher untersuchten, wie das Hirn Zeit registriert und fanden heraus: In unserem Kopf dauert die Gegenwart drei Sekunden.



116 Immer mehr Menschen fühlen sich im Alltag gehetzt und unter Termindruck. Dabei mangelt es ihnen gar nicht an Zeit.

PROLOG

Von der Schönheit eines Moments, der Größe des Universums, der Vergänglichkeit von Bewegung – und Archiven in Stein **6**

DIE PHYSIK DER ZEIT

Das ewige Rätsel Was Zeit ist, versuchen Forscher seit Langem zu ergründen – und finden zum Teil sonderbare Antworten **20**

Die Wächter der Zeit Mit einer extrem genauen Uhr vermessen Braunschweiger Wissenschaftler die Sekunde **34**

Der Rhythmus des Universums Vom Urknall bis zum allerkürzesten Augenblick: Rekorde einer physikalischen Größe **42**

DIE ZEIT IN DER NATUR

Wenn die Geschichte gefriert Warum in Eisbohrkernen und Sedimenten die Biografie unseres Planeten verborgen ist **44**

Die unsichtbaren Zeitmesser der Natur Wie es Tieren und Pflanzen gelingt, sich den natürlichen Rhythmen anzupassen **52**

Das Tempo des Lebens Welche rekordverdächtigen Merkmale Lebewesen im Kampf ums Dasein entwickelt haben **64**

DER MENSCH UND DIE ZEIT

Der Film im Kopf Weshalb das Gehirn Zeit in winzigen Paketen wahrnimmt und daraus einen Fluss des Erlebens schafft **66**

Gefangen in der Gegenwart Eine Viruserkrankung zerstörte einem Briten das Gedächtnis – und nahm ihm die Vergangenheit **74**

Im Netz der Erinnerungen Wie Nervenzellen Erlebtes und Erlertes speichern und daraus das Gedächtnisarchiv bilden **80**

Der Mensch im Grenzbereich Mit welchen Tricks das Gehirn von Sportlern Höchstleistungen erbringt **92**

Jenseits der Stunden Weshalb manche Völker ein ganz anderes Verständnis von Zeit haben als die westlichen Nationen **94**

Der Uhrmacher und das Meer Das Chronometer, das nach Wochen auf See weniger als eine Minute falsch ging **104**

Der Pulsschlag der Moderne Weshalb viele, obwohl sie immer mehr Freizeit haben, sich dennoch gehetzter fühlen **116**

Aller Laster Anfang? Um kreativ zu sein, benötigt das Gehirn zuweilen Pausen, vielleicht gar Langeweile **130**

Die Erfindung des Jahres Mit Kalendern versuchen die Menschen seit Jahrtausenden, Herr über die Zeit zu werden **132**

Ein Puzzle aus 1300 Teilen Wie die derzeit wohl komplizierteste Armbanduhr der Welt entsteht **144**

Von Dauer und Geschwindigkeit Zahlen, Zahlen, Zahlen zum Phänomen Zeit **152**

Bildnachweis

141

Impressum

141

Vorschau: »Intelligenz«

154

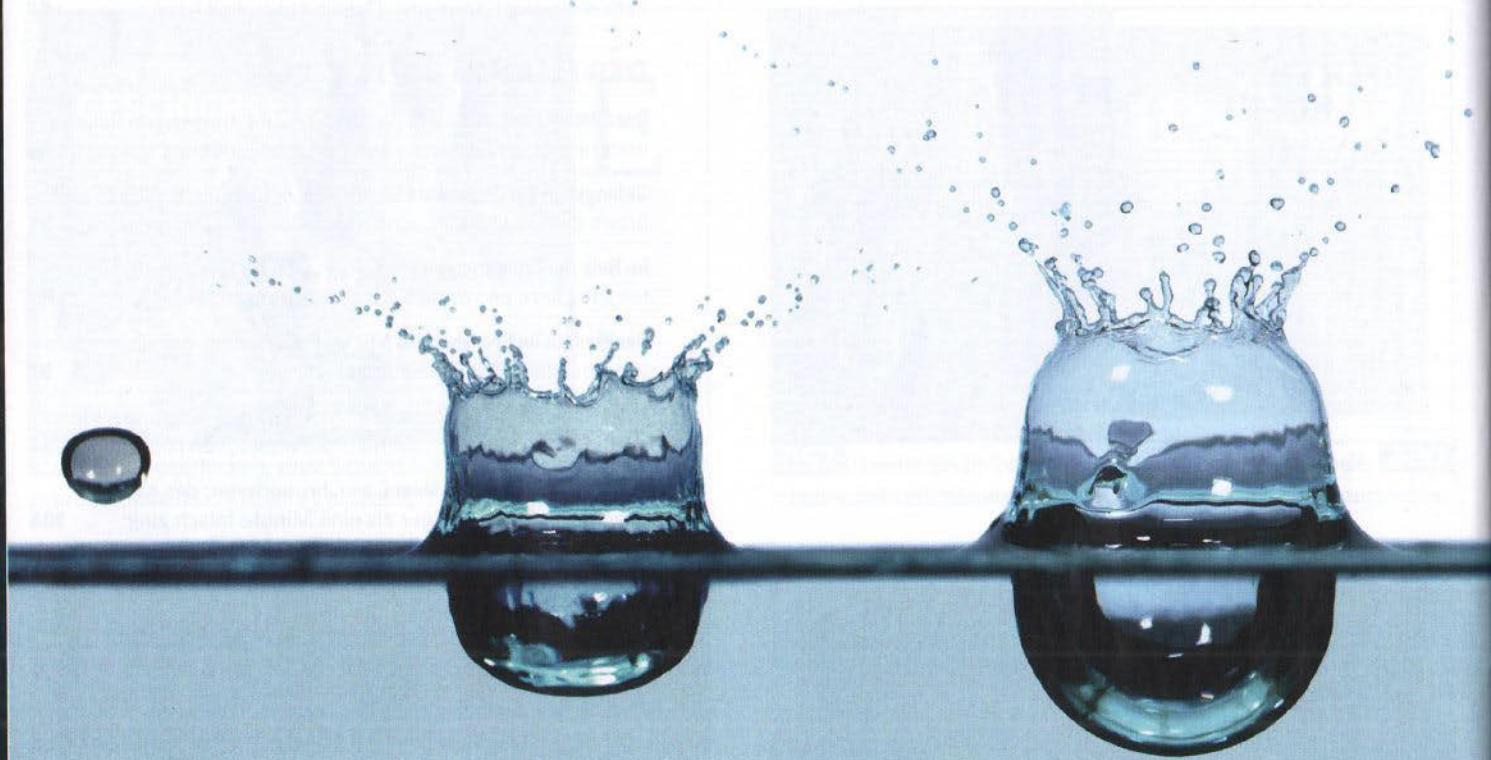
Redaktionsschluss dieser Ausgabe: 20. Mai 2011

Titelbild: Eugen/Corbis,
Illustration und Montage:
Tim Wehrmann

Alle Fakten und Daten sind vom GEO kompakt-Verifikationsteam auf Präzision, Relevanz und Richtigkeit überprüft worden.

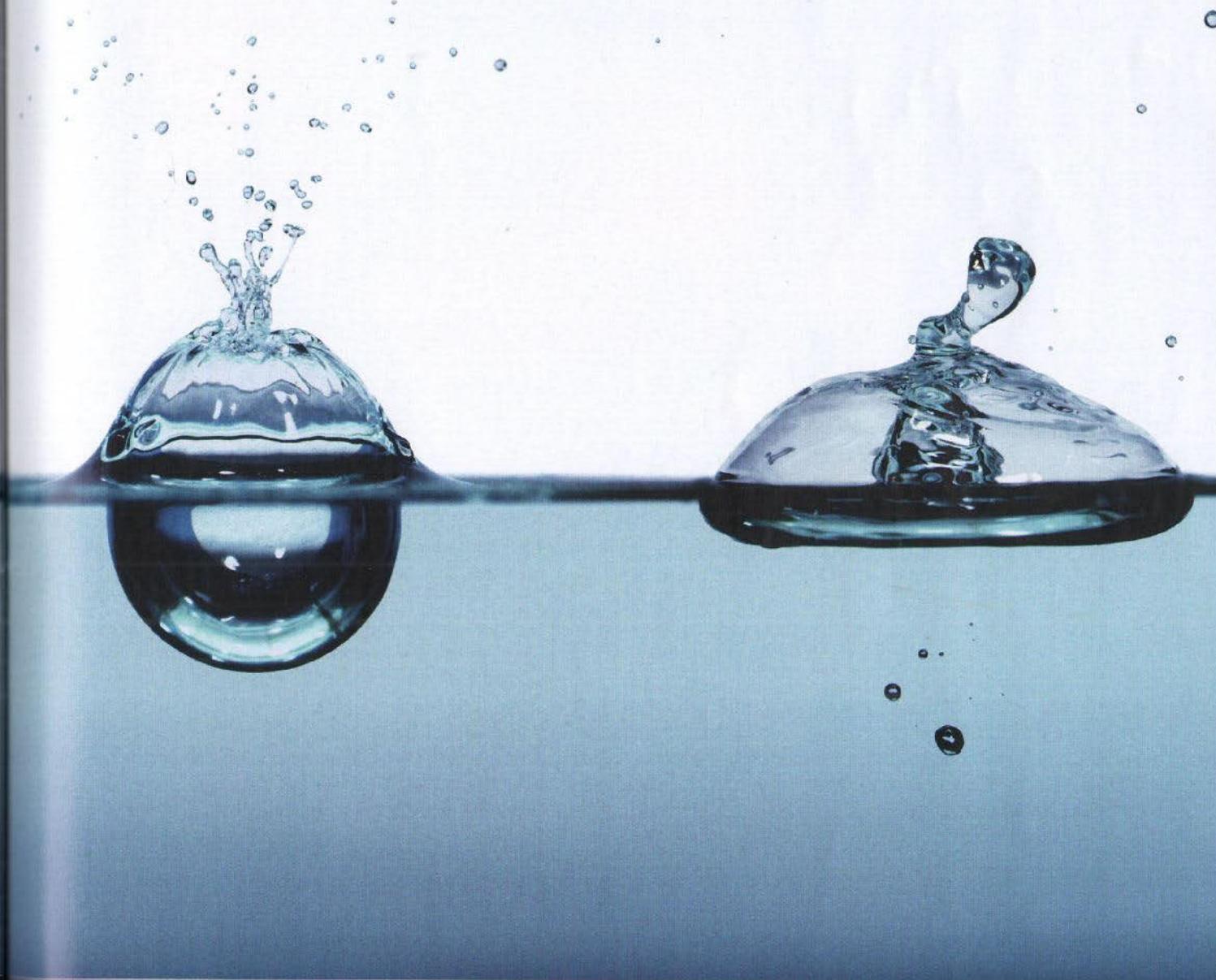
Informationen zum Thema und Kontakt zur Redaktion unter www.geokompakt.de

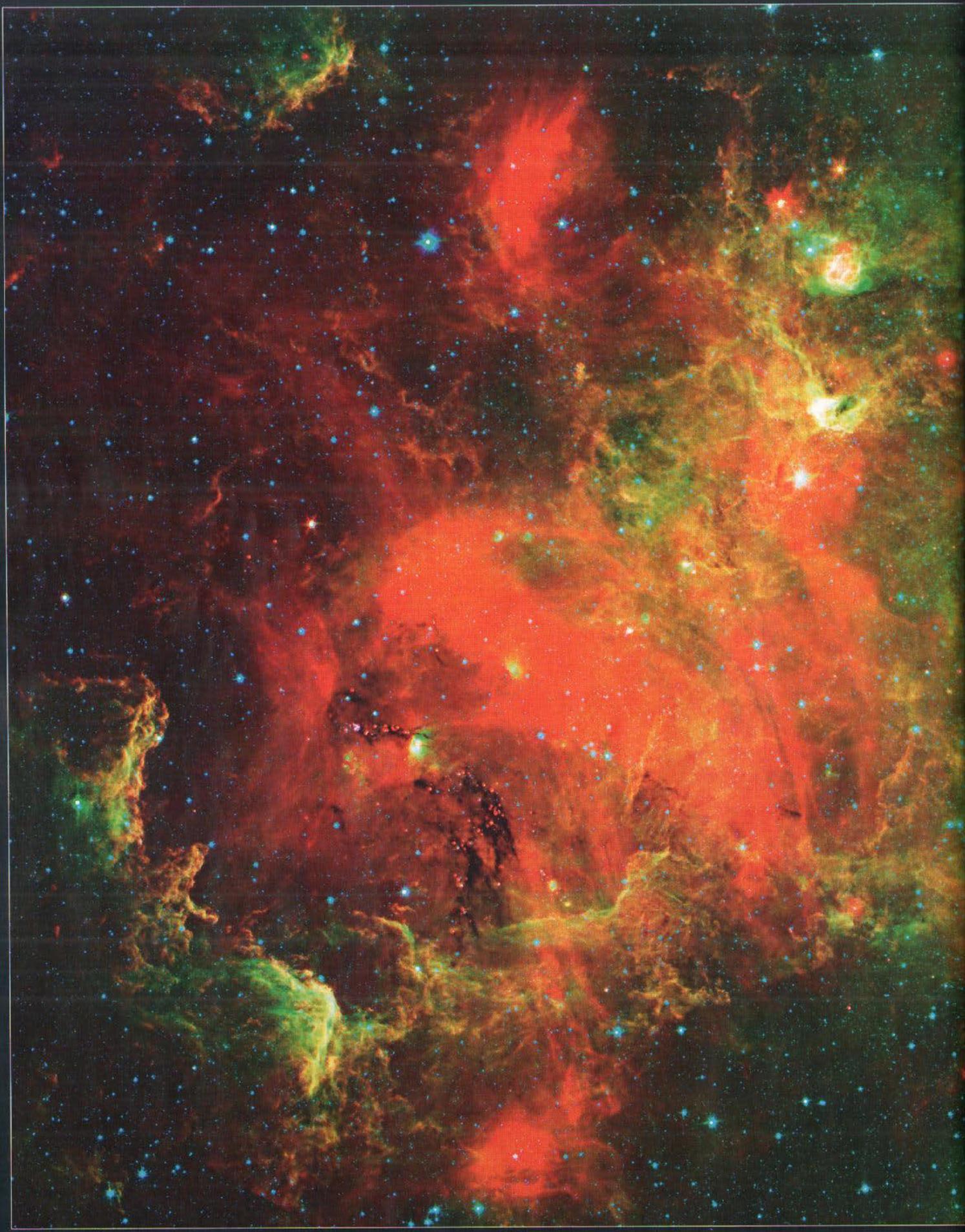
Der Takt des Seins

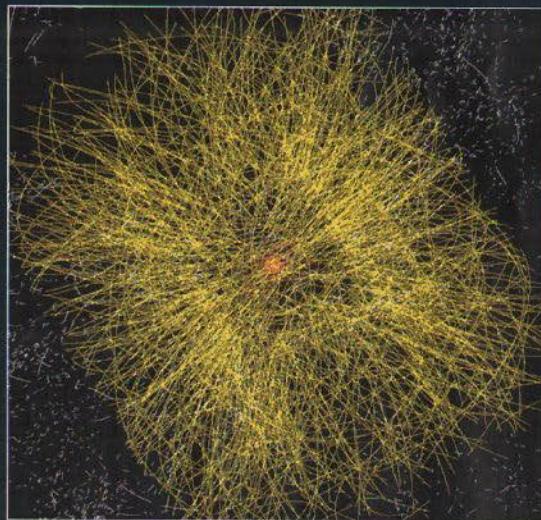
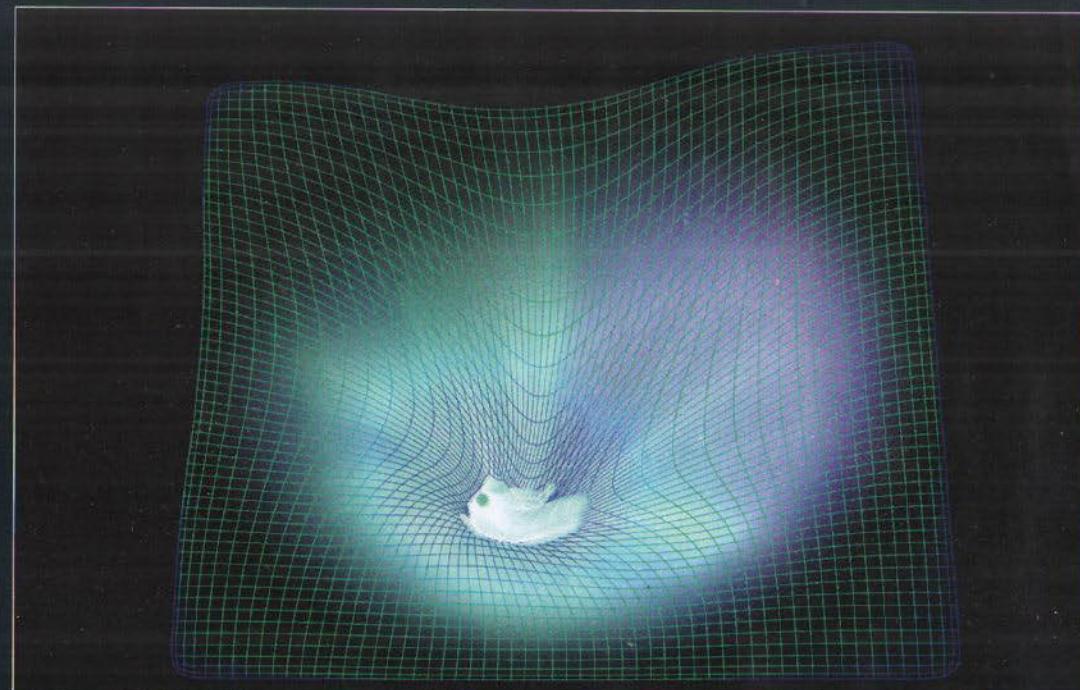
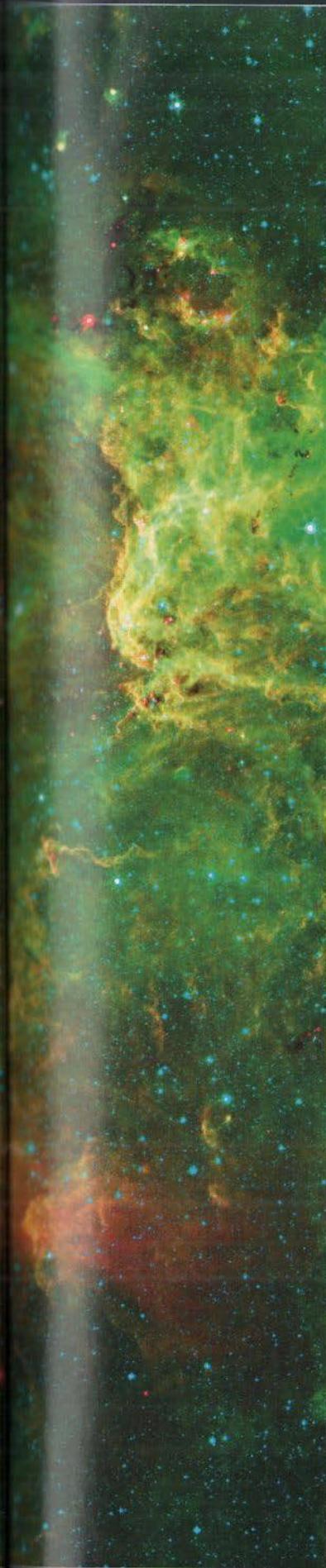


Der festgehaltene Moment:
Das Aufschlagen eines Tropfens
auf eine Wasserfläche geschieht
für das menschliche Auge zu
schnell. Erst eine Hochgeschwin-
digkeitskamera enthüllt, was
in einem Augenblick so
alles abläuft

Augenblicke reihen sich aneinander, Stunden verstreichen, Tage vergehen, ein Leben beginnt und endet, Jahre summieren sich zu Tausenden und schließlich Millionen: Die Zeit bestimmt seit dem Urknall die Richtung, in der sich unser Universum entwickelt. Sie legt fest, was gestern war, und lässt uns auf eine unbekannte Zukunft schauen. Wir archivieren sie in unseren Köpfen oder lesen sie aus geologischen Schichten. Lebewesen passen sich dem Rhythmus von Gezeiten und Jahreszyklen an, Menschen takten ihre Körperbewegungen auf Millisekunden genau. In der Zeit erfüllt sich unser Schicksal – und dennoch bleibt sie selbst Physikern rätselhaft







Blick in die Tiefe der Zeit

Mit dem Urknall kam auch die Zeit in die Welt. Seither dehnt sich der Raum kontinuierlich aus, und die Zeit verläuft stetig in dieselbe Richtung. Wenn wir Sterne und Galaxien am Firmament anvisieren, ist das ein Blick in die Vergangenheit. Ihr Licht ist zum Teil schon seit Jahrmillionen und Jahrmilliarden unterwegs



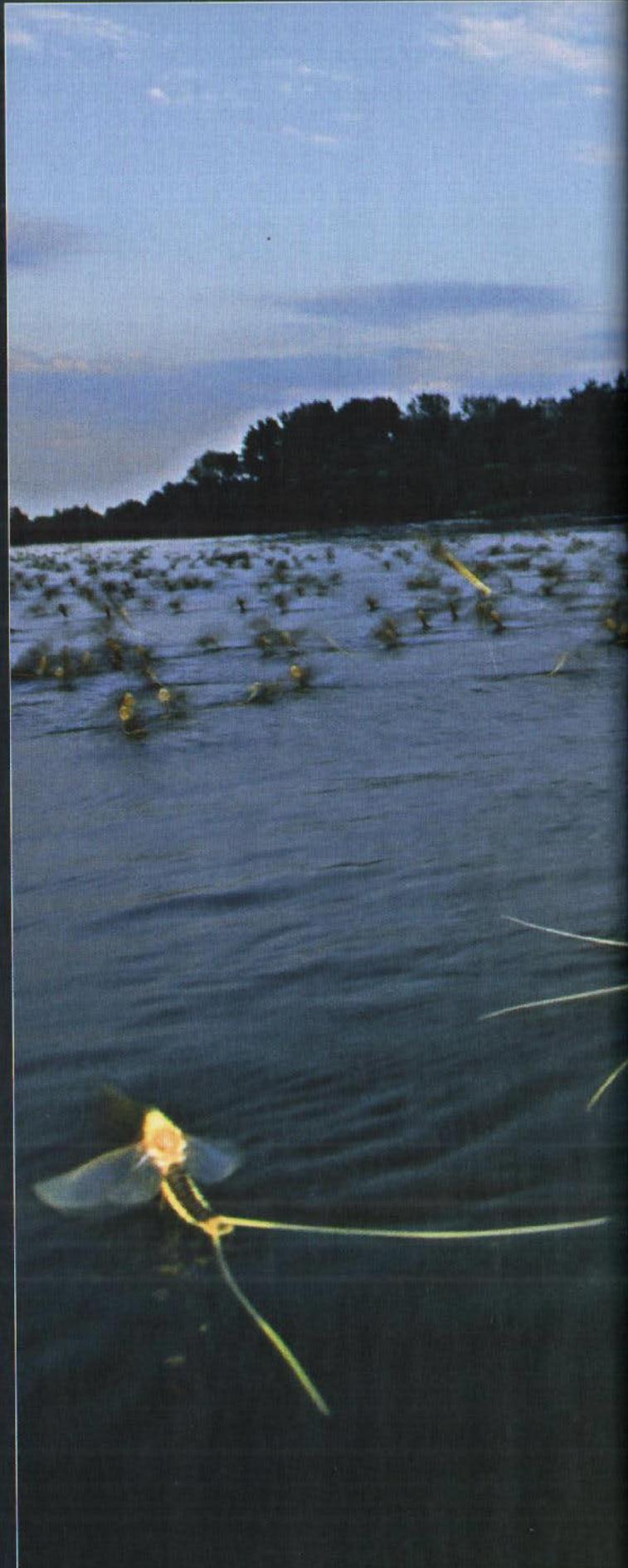
Rund 1500 Jahre benötigt das Licht, um vom Nordamerika-Nebel – einer Region kosmischer Staubwolken in unserer Milchstraße, in der viele Sterne vor Kurzem neu entstanden sind – zu uns zu gelangen. Dabei legt es eine Entfernung von 14 000 Billionen Kilometern zurück.



Große Massen können den Raum und die Zeit stark krümmen – hier graphisch am Beispiel eines Schwarzen Lochs angedeutet. Im Grenzbereich zu einem solchen Himmelskörper wird die Zeit so sehr verzerrt, dass sie für einen äußeren Betrachter stehen bleibt.



Was in den ersten Millionstelsekunden nach dem Urknall geschah, versuchen Forscher am Teilchenbeschleuniger CERN in Genf zu enträtseln. Dazu lassen sie etwa Bleiatome fast mit Lichtgeschwindigkeit aufeinanderprallen – und untersuchen die dabei entstehenden Elementarteilchen.



Die Zyklen der Natur

Der Lauf der Erde um die Sonne, das Kreisen des Mondes um die Erde und die Rotation unseres Planeten um sich selbst geben die drei Grundrhythmen der Natur vor: das Jahr, den Monat und den Tag. Alle Lebewesen sind in diese natürlichen Zyklen eingebunden und müssen daran ihre Nahrungssuche, ihre Fortpflanzung und ihre Wanderungsbewegungen anpassen.



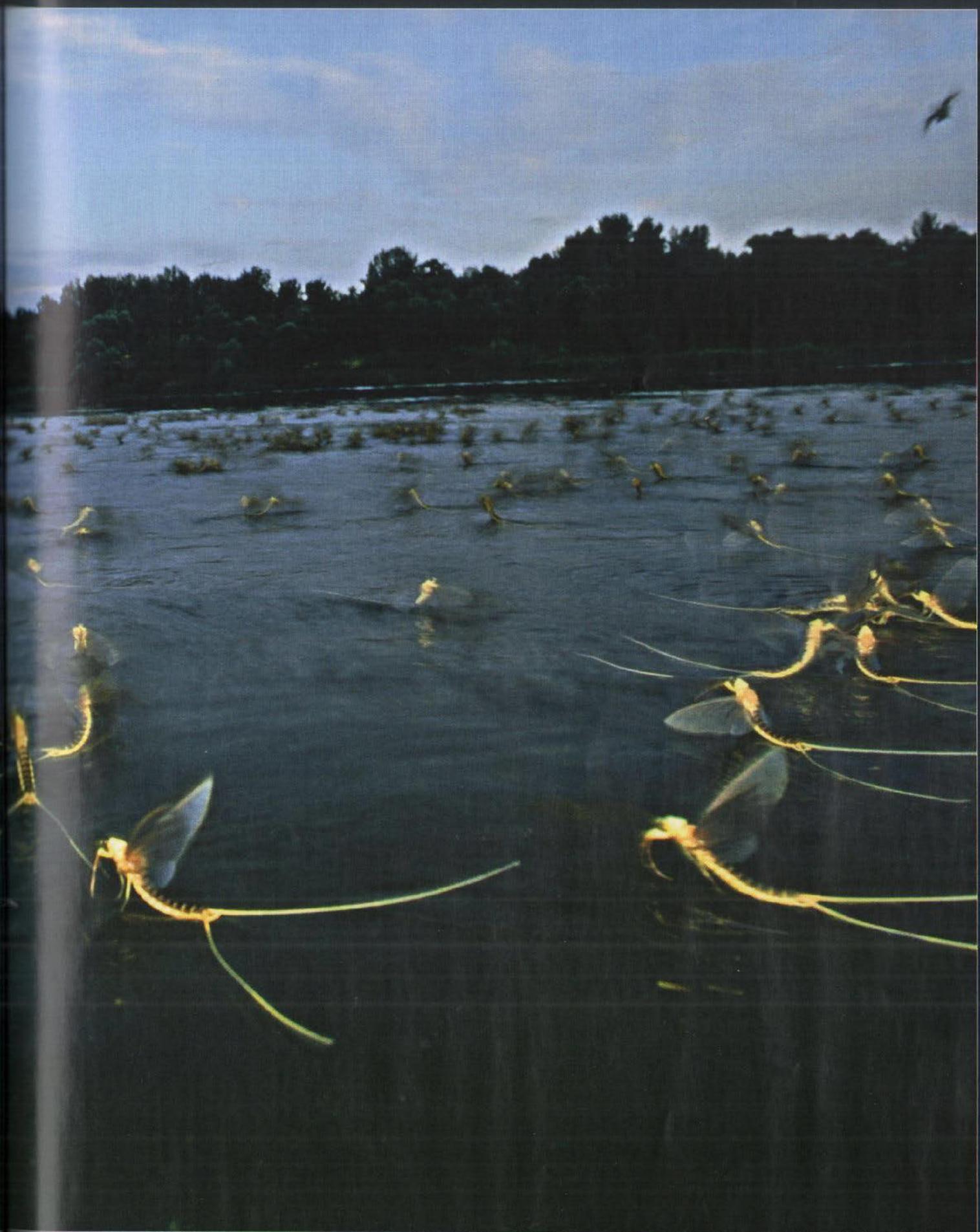
Innere Uhr: Nach drei Jahren Larvendasein schlüpfen Eintagsfliegen simultan auf eine Viertelstunde genau, um sich fortzupflanzen. Wie sie das schaffen, ist noch rätselhaft.

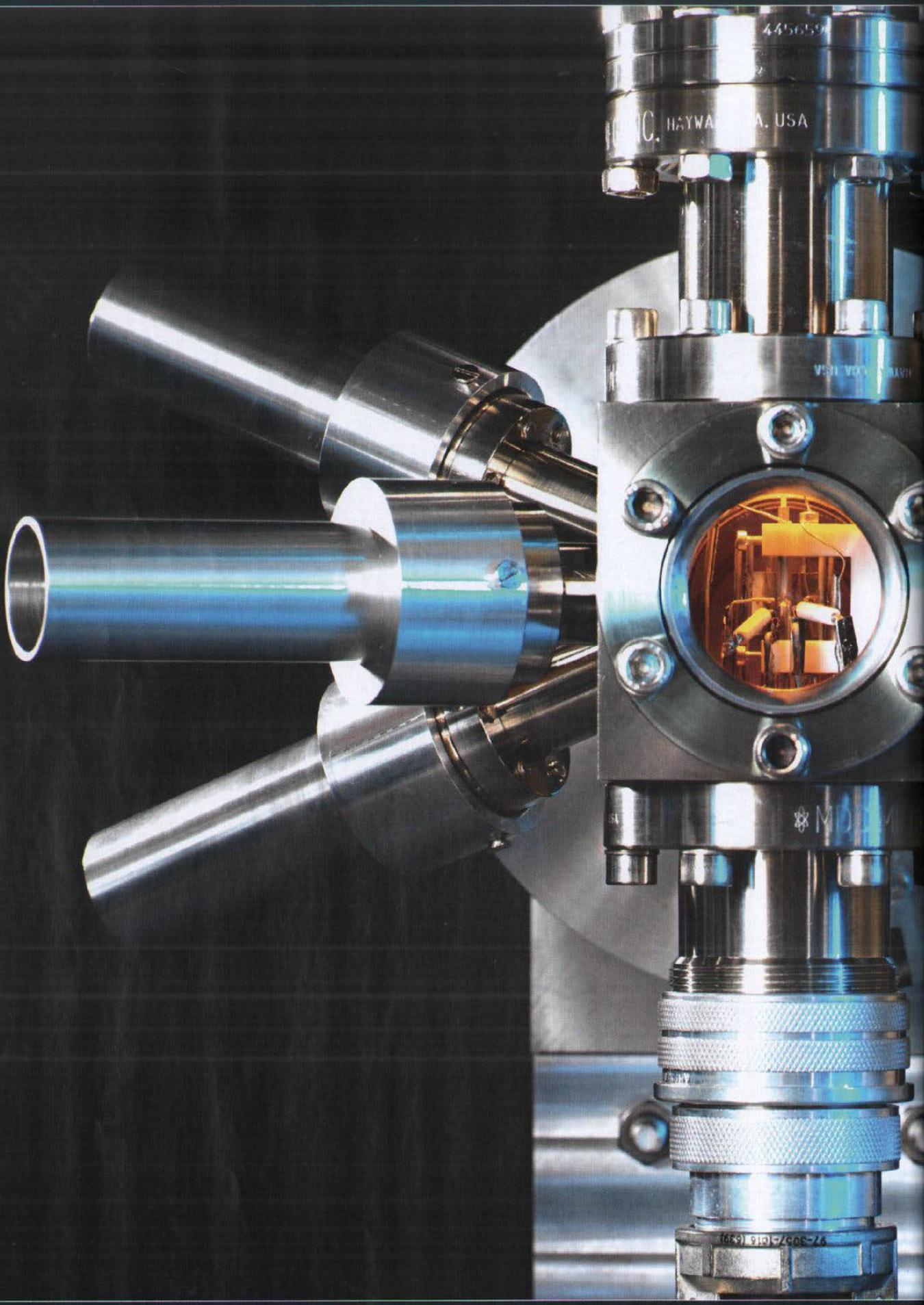


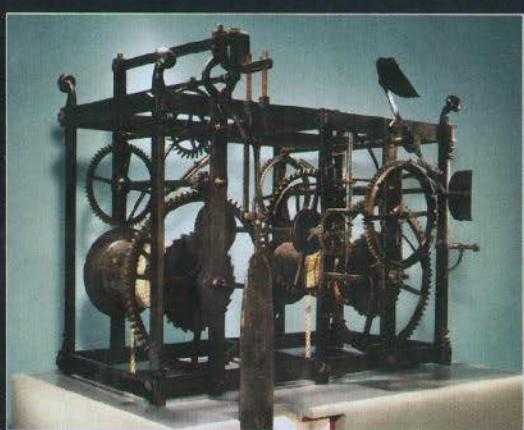
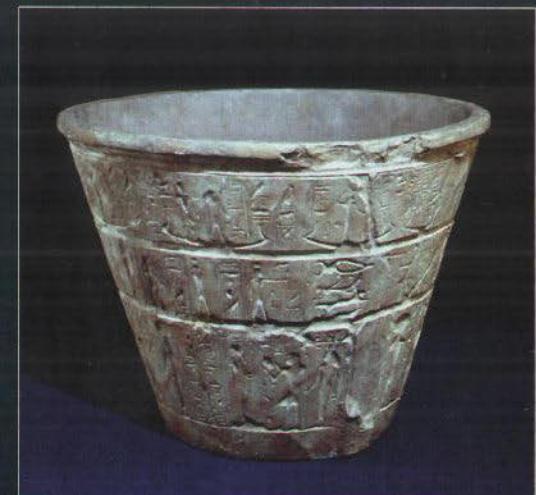
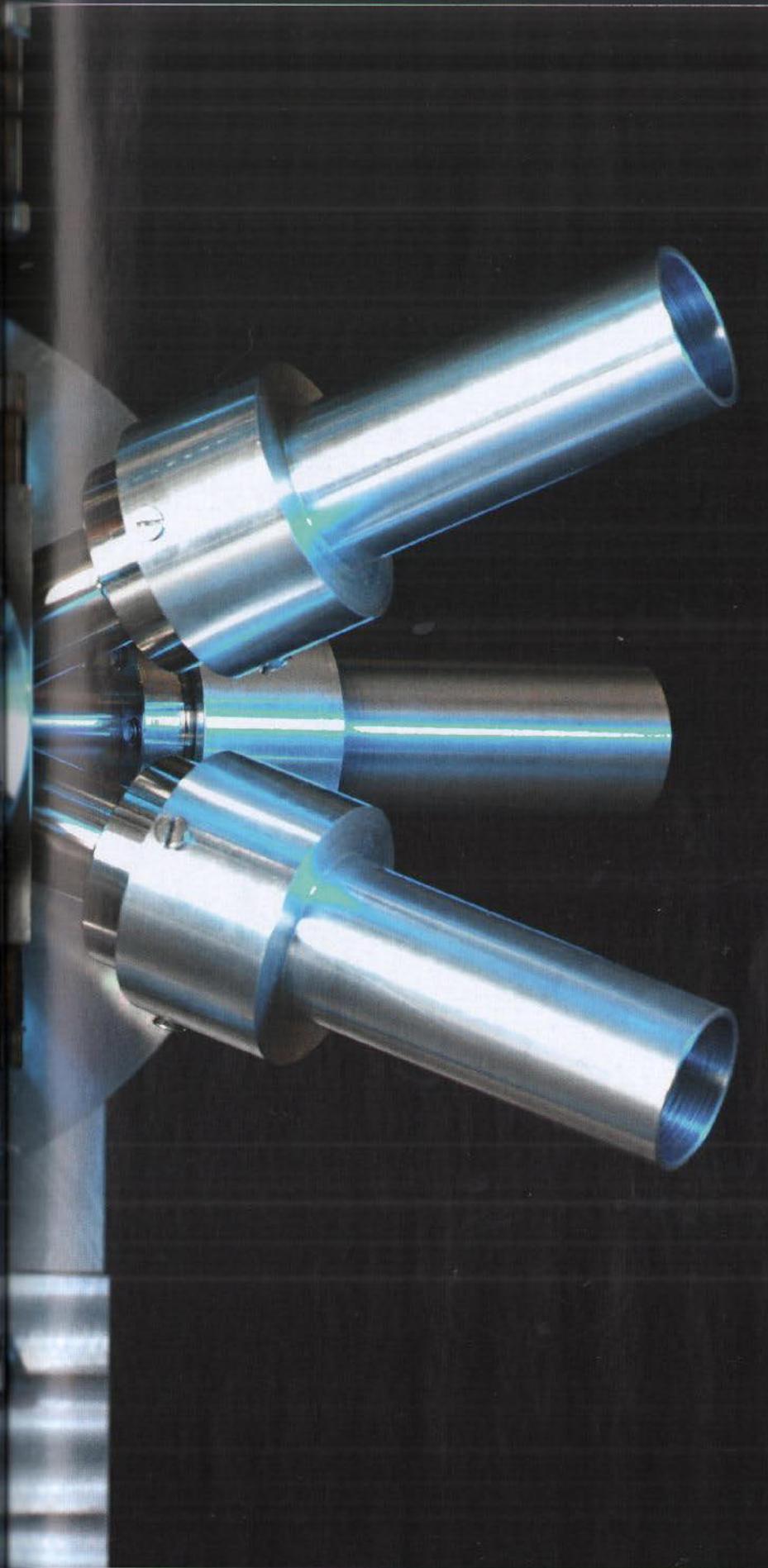
Der Wechsel von Ebbe und Flut beeinflusst die Erde: Weil sie sich dreht und die Masse des Mondes an den Meeren zerrt, weicht das Wasser – hier in Perranporth in Cornwall – zurück.



Der Stand zwischen Hoch- und Niedrigwasser kann in Perranporth um mehr als sechs Meter schwanken. Bis zu 16 Meter sind es gar in der Bay of Fundy vor Neuschottland in Kanada.







Das Maß der Sekunde

Seit jeher versuchen die Menschen, die Zeit mit technischen Hilfsmitteln zu erfassen: anfangs mit Sonnen-, Wasser- und Sanduhren, später mit mechanischen Chronometern - und seit 1927 mit Quarzuhrn, deren extrem regelmäßig schwingender Kristall eine bis dahin nicht bekannte Genauigkeit ermöglicht. Noch exakter aber ticken die Atomuhren großer Forschungsinstitute:



Diese Atomuhr aus Großbritannien ist noch in der Entwicklung. Sie soll die Zeit schon bald tausendmal genauer liefern als der zeitige Modelle.



Vor rund 3400 Jahren nutzten Ägypter diese Wasseruhr: Aus einem Loch am Boden tropfte das Nass so regelmäßig, dass der Wasserpegel den Verlauf der Zeit widerspiegeln



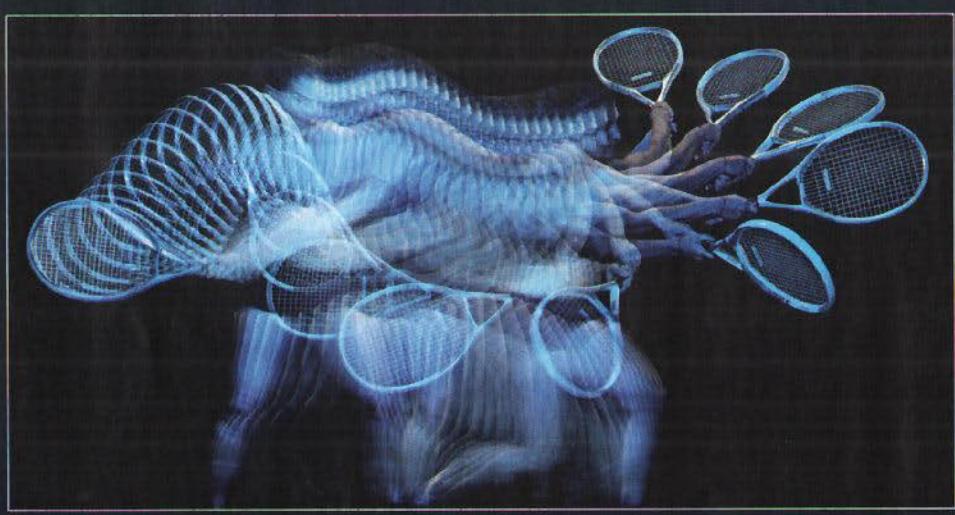
Eine der ältesten Pendeluhrn: Die 1671 gebaute Turmuhr des King's College in Cambridge bei London, deren Taktgeber zwei Meter lang ist, hatte nur einen Stunden-, keinen Minutenzeiger und war 146 Jahre lang in Gebrauch.

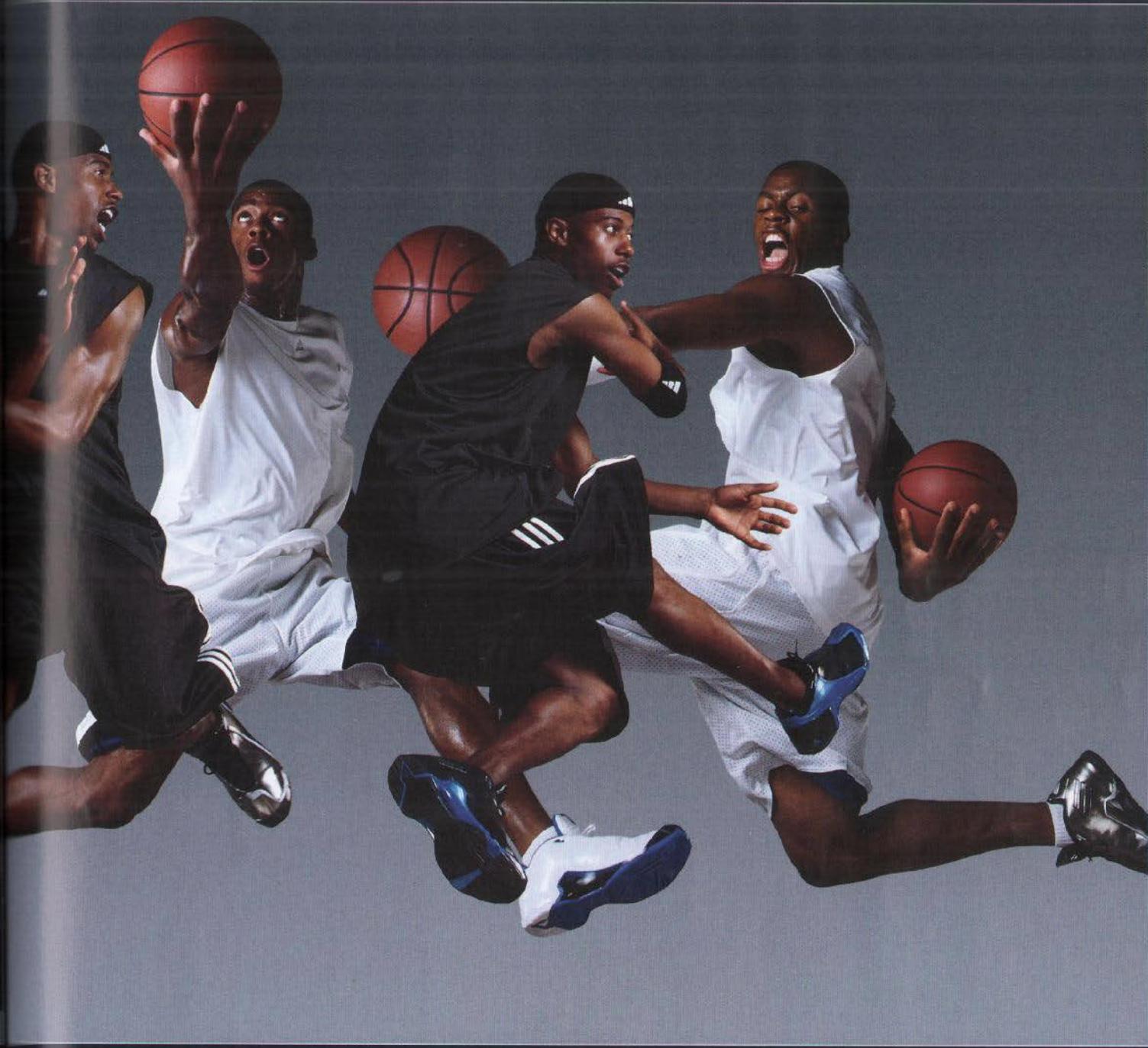




Schnellschuss

Mit einer Geschwindigkeit von mehr als 3,5 Metern pro Sekunde kann ein Chamäleon seine Zunge auf ein Beutetier schnellen lassen und sie dabei um das Sechsfache dehnen. Die Bewegung dauert weniger als eine Zehntelsekunde und erlaubt dem Opfer kein Entkommen. Auch ein Mensch hätte bei einer derart schnellen Attacke keine Chance: Er braucht mindestens zwei Zehntelsekunden, um eine Bewegung wahrzunehmen und darauf zu reagieren.





Der Fluss der Bewegung

Wenn ein Sportler einen Ball dribbelt, den Gegnern ausweicht und Mitspieler im Auge behält, ist sein Gehirn extrem gefordert. Damit es nicht mit Reizen überflutet wird und diese einzeln wahrgenommenen Objekte zuordnen kann, arbeitet es mit Takten: Es fasst alle Sinnesreize eines Intervalls von 20 bis 40 Millisekunden zu einem Moment ohne Zeit zusammen. Erst deren Aneinanderreihung schafft den zeitlichen Fluss.



Für die zeitliche Steuerung und Kontrolle komplexer Bewegungen - etwa das Führen eines Balls - ist ein spezielles, bei Menschen stark ausgeprägtes Hirnareal zuständig: der prämotorische Kortex.

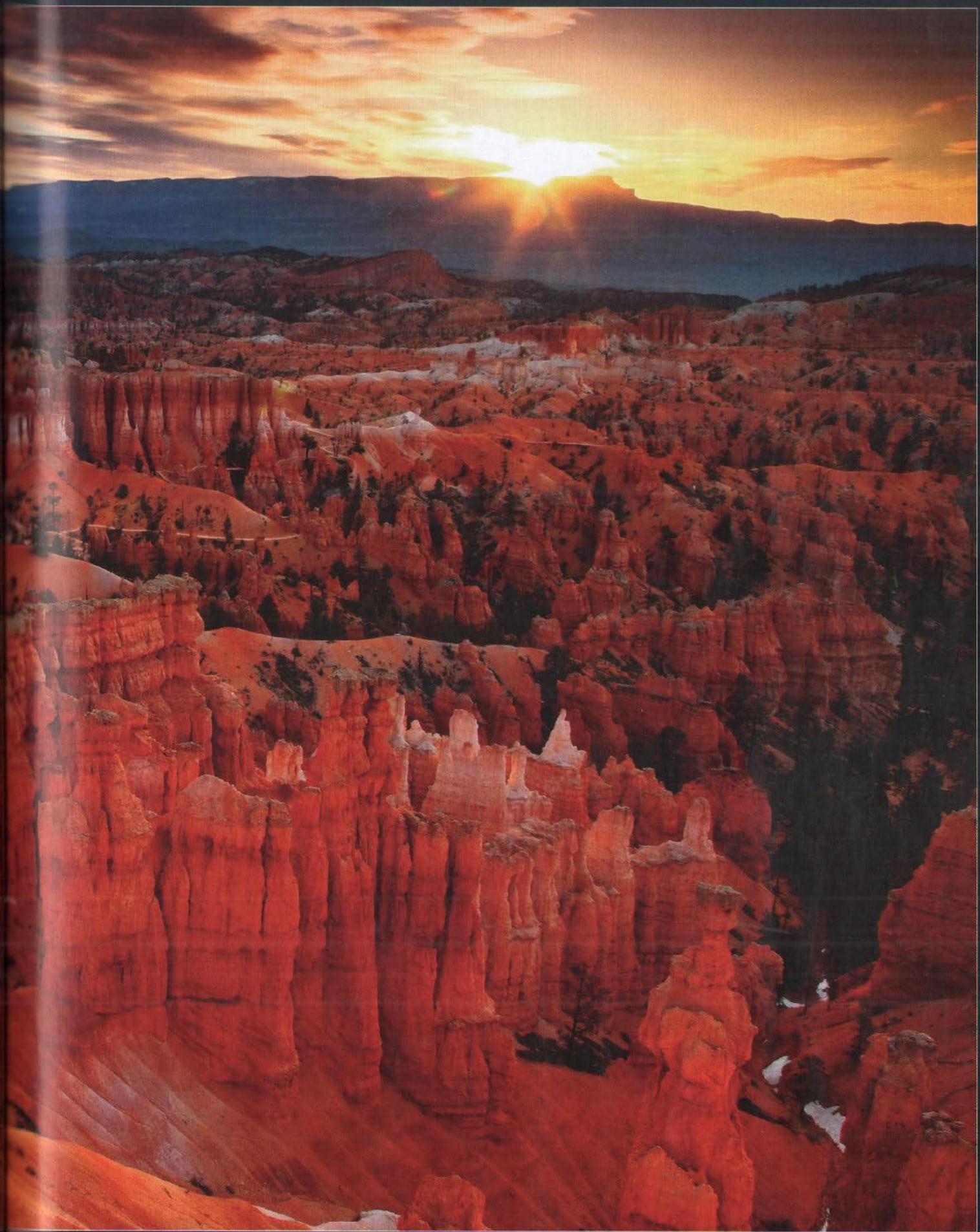


Beim Tennis kann ein Spieler den Ball auf eine Geschwindigkeit von mehr als 250 km/h beschleunigen. Ein Gegner hat nur eine Chance zu parieren, wenn er unbewusst reagiert.



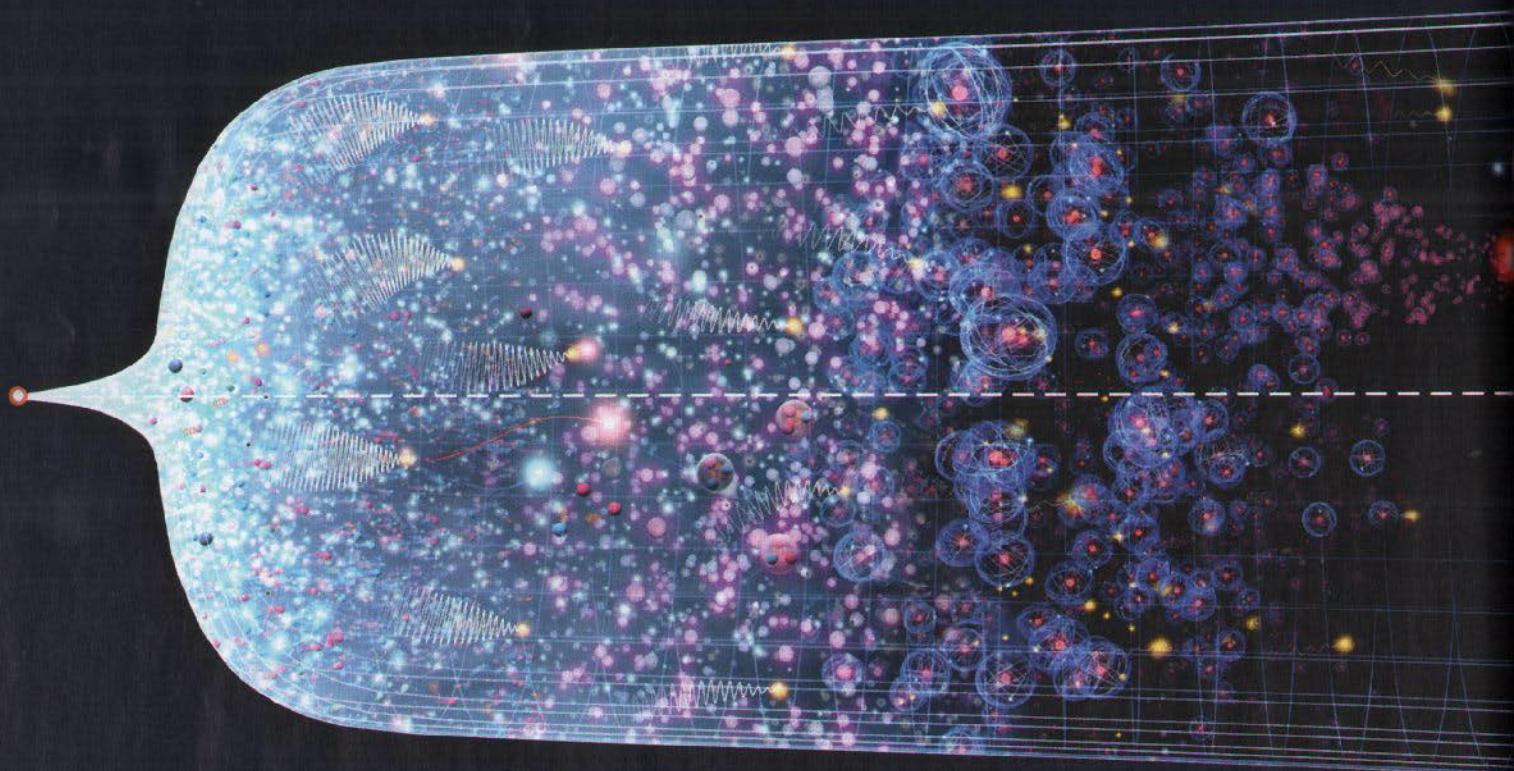
Zeitzeugnis im Stein

Überall auf unserem Planeten finden sich Spuren der Vergangenheit - beispielsweise übereinanderliegende Gesteinsschichten, die wie ein Archiv die geologische Historie unseres Planeten dokumentieren. Die Felsformationen des Bryce Canyon in Utah etwa formten sich Lage für Lage aus Sedimenten am Boden eines flachen Meeres, das dort vor 40 bis 60 Millionen Jahren lag. Weil sich das Gelände später hob und die Erosion bizarre Formen herausfräste, sind die steinernen Zeitzeugen heute gut von außen sichtbar. □



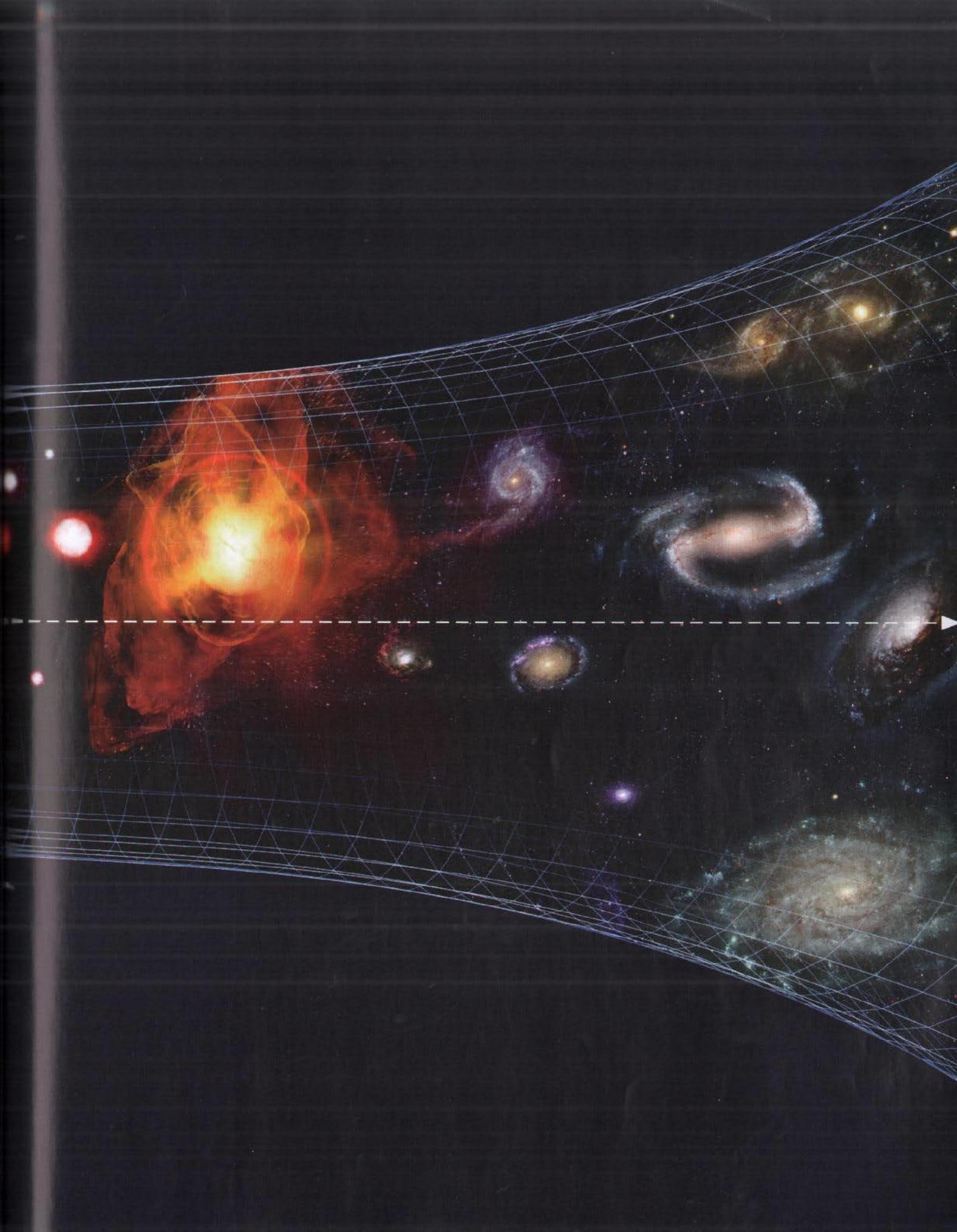
Das ewige Rätsel

Was ist Zeit? An nur wenigen Fragen haben sich Gelehrte den Kopf so zerbrochen wie an dieser. Mit ausgeklügelten Experimenten, komplizierter Mathematik und ungemein komplexen Theorien kommen die Naturforscher der Lösung immer näher. Doch die Erkenntnisse, die Wissenschaftler dabei gewinnen, wirken mitunter bizarr – weil sie unserer alltäglichen Erfahrung widersprechen



Die Geburt von Zeit und Raum

Die Zeit hat es nicht schon immer gegeben. Wie Materie und Raum entstand sie vor etwa 13,7 Milliarden Jahren aus einem unvorstellbar kleinen Punkt, in dem sich die gesamte Energie des Alls zusammendrängte. Seit diesem Urknall dehnt sich das Universum wie eine gewaltige Blase aus. Dadurch erhielt auch die Zeit ihre charakteristische, unverrückbare Ordnung von Vergangenheit, Gegenwart und Zukunft, in der in gewaltigen Zyklen Himmelskörper entstehen und wieder vergehen: So leuchteten beispielsweise nach rund 100 bis 200 Millionen Jahren die ersten Sterne auf, bildeten sich nach 200 bis 500 Millionen Jahren die ersten Galaxien





Eigentlich ist es unmöglich, über sie zu sprechen, denn wir vermögen sie nur zu erahnen. Licht können wir mit den Augen sehen, Schall mit den Ohren hören, Druck mit der Haut spüren. Doch kein Sinnesorgan hilft uns, die Zeit zu begreifen. Bereits bei einer scheinbar einfachen Frage geraten wir deshalb ins Stocken: Was eigentlich ist „Zeit“?

Jedem erscheint sie vertraut und selbstverständlich, jedermann glaubt zu

Vor allem jene Forscher versuchen die Zeit zu fassen, die den allgemein gültigen Grundprinzipien des Kosmos auf der Spur sind: die Physiker. Sie stützen sich auf die Gewissheit, dass sie die fundamentalen Regeln der Naturkräfte mit der Vernunft erfassen können.

Einige ihrer Einsichten in das Wesen der Zeit sind recht verständlich:

- Erst mit dem kosmischen Urknall vor 13,7 Milliarden Jahren entstanden Raum, Materie – und die Zeit.
- Seither verrinnt sie in eine Richtung: die Abfolge von Vergangenheit, Gegenwart, Zukunft ist unumkehrbar.
- Keine andere physikalische Größe lässt sich so exakt bestimmen wie die Zeit – bis auf mehr als ein Dutzend Stellen hinter dem Komma konnten Forscher die Sekunde bereits vermessen.

Andere Erkenntnisse wirken dagegen geradezu bizarr: Flugzeugreisende etwa altern langsamer als Menschen am Boden. Oder: Armbanduhren zeigen im Tal weniger verstrichene Zeit an als auf

Dieses sind die derzeit vier wichtigsten Facetten des Phänomens Zeit, denen Physiker auf der Spur sind. Aber es ist schwierig, in die Gedankenwelt dieser Wissenschaftler einzutreten; unmöglich fast, alle Details ihrer Theorien zu durchdringen.

Denn einige Erklärungen der Physik gelten als das Komplizierteste, was Menschen jemals erdacht haben – und manche ihrer kühnsten Vertreter als Grenzgänger zwischen abstrakter Philosophie und exakter Naturwissenschaft.

Wer verstehen will, was die Forscher mit Zahlen und Formeln ausdrücken, muss bereit sein, mit Gedanken zu experimentieren. Und zumindest für einen Augenblick die Erfahrungen der Alltagswelt hinter sich lassen.

I.

Ende der Konstanz: Der Gang der Zeit liegt im Auge des Betrachters

Leipzig, 1931. Die Worte klingen zornig: Die neuen Gedanken seien nichts als Unsinn und Irreführung, schimpfen 100 Physiker und Mathematiker in einer Streitschrift.

Die Forscher protestieren gegen ein Gedankengebilde, das viele vermeintlich unumstößliche Gewissheiten auf den Kopf stellt: die Relativitätstheorie.

Dabei ist deren Schöpfer Albert Einstein ein weltbekannter Star, ein Held der Vernunft, einer der Größten, die die Wissenschaft je hervorgebracht hat.

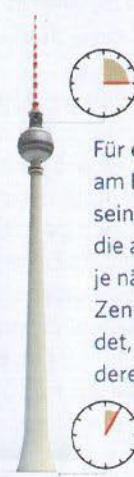
wissen, was das Wort bedeutet. Doch je länger man darüber nachdenkt, desto unbestimmter wird der Begriff. „Wenn mich niemand danach fragt, weiß ich es“, schrieb der christliche Kirchenlehrer Augustinus im 4. Jahrhundert n. Chr. über die Zeit. „Will ich einem Fragenden es erklären, weiß ich es nicht.“

Seit Jahrtausenden bemühen sich Gelehrte, das Phänomen Zeit zu ergründen. Ob Aristoteles oder Platon, Kant oder Heidegger – viele große Denker haben sich daran versucht. Allein für Leistungen, die mit diesem Thema zusammenhängen, hat die Königlich Schwedische Akademie der Wissenschaften bislang 20 Nobelpreise verliehen.

dem Gipfel. Und: Zeit und Raum sind untrennbar miteinander verbunden.

Insgesamt zeichnet die moderne Physik ein ungewohntes Bild unserer Wirklichkeit. Sie zeigt uns, dass die Zeit ganz anders ist, als wir sie erleben:

- Sie vergeht nicht überall gleich schnell – es kommt darauf an, in welchem Bezugssystem man sie misst.
- Zeit und Raum existieren nicht unabhängig voneinander – sie bilden gemeinsam die „Raumzeit“.
- Masse dehnt die Zeit – und beeinflusst so ihren Ablauf.
- Zeit gleicht womöglich einem stetigen Fluss – oder vielleicht einem Strom winziger Körner.



Für einen Beobachter am Fuß eines Turms tickt seine Uhr langsamer als die an der Spitze. Denn je näher sich eine Uhr am Zentrum der Erde befindet, desto stärker bremst deren Masse die Zeit



Die Reise der Zwillinge

Als Einstein seine Gedanken im Alter von 26 Jahren 1905 erstmals veröffentlicht, ist er noch gänzlich unbekannt. Wenige Jahrzehnte später aber werden seine Überlegungen und Berechnungen an vielen physikalischen Instituten der Welt erörtert. Die Einwände der 100 murrenden Autoren finden nur noch wenige Befürworter. Dabei ist ihre Empörung nicht verwunderlich. Denn Einstein, der im Kindesalter als „deppert“ gehänselt wurde, verwirft die bis dahin gültigen Vorstellungen der Zeit. Noch dazu fast im Alleingang. Er erkennt als Erster, dass sie anderen Gesetzen gehorcht, als die Wissenschaft zuvor angenommen hat.

Mehr als 200 Jahre lang gingen Forscher davon aus, dass die Zeit für jeden gleich schnell vergehe. Denn sie folgten

einem der Urväter der Physik: Isaac Newton. Der britische Gelehrte hatte 1687 in seinem berühmten Werk „Mathematische Prinzipien der Naturlehre“ erklärt, die Zeit verlaufe überall gleich im Universum – sie sei gleichsam ein ehrner Rahmen, in dem sich das Geschehen der Schöpfung abspielt.

Eine Minute dauere in einer weit entfernten Galaxie demnach genauso lange wie auf der Erde. Und gleichgültig, ob zwei Uhren nahe beieinander stehen oder im All weit voneinander entfernt sind, egal ob die eine auf einem Schiff, die andere in einem Haus steht: Überall schlägen sie den gleichen Takt.

Diese Einsicht gehörte lange Zeit zum unantastbaren Regelwerk der klassischen Physik. Doch Einstein folgt ihr nicht. Er behauptet sogar das glatte

Gegenteil: Die Zeit kann unterschiedlich schnell fließen. Ihr Tempo hängt davon ab, sagt er, wo man sie misst. Kurz: Die Zeit ist nicht absolut. Sie ist relativ.

Ihr Gang hängt nach Einsteins These vom Betrachter ab: Beobachtet der beispielsweise eine Uhr, die sich aus seiner Sicht bewegt, so vergeht die dort angezeigte Zeit langsamer als seine eigene.

So müsste eine Uhr in einem Zug aus dem Blickwinkel eines ruhenden Beobachters, der von einem Bahnsteig durch die Fenster in den Zug schaut, langsamer ticken als die Bahnhofsuhr in seiner eigenen Umgebung. Für den Reisenden

liardstelsekunden: Das ist ungefähr die Größe, die Hafele und Keating auf der Basis von Einsteins Annahmen vorausgesagt hatten.

Die bis heute präziseste Messung der Zeitdilatation glückt 2003 dem Physiker Guido Saathoff und seinen Kollegen vom Max-Planck-Institut für Kernphysik in Heidelberg.

In einem Teilchenbeschleuniger, einer technisch hochgerüsteten Röhre, lassen die Forscher Lithium-Partikel mit 69 Millionen km/h im Kreis rasen. Bei dieser Geschwindigkeit könnten die Materienteilchen innerhalb von rund

das wir schon als Kind von der scheinbar universellen Zeit entwickeln, sich dagegen sträubt.

Aber weshalb hat gerade Einstein, dieses angeblich „depperte Kind“, das Prinzip der Relativität gefunden? Er schrieb einmal: „Ich habe mich derart langsam entwickelt, dass ich erst anfing, mich über Raum und Zeit zu wundern, als ich bereits erwachsen war. Naturremäß bin ich dann tiefer in die Problematik eingedrungen als ein Kind.“

Einstein verändert das physikalische Verständnis der Zeit wie kein anderer: Zuvor glaubten die Menschen, sie sei eine unveränderliche Konstante der Natur. Doch seit den Einsichten des genialen Physikers müssen wir uns an den Gedanken gewöhnen, dass das Wesen der Zeit weitaus komplizierter ist.

Und dass ihr Takt, so skurril es klingt, nicht überall gleich ist.

Die Entdeckung der Raumzeit

1908 wies der Mathematiker Hermann Minkowski rechnerisch nach, dass sich Raum und Zeit nicht voneinander trennen lassen. Seither betrachten Wissenschaftler die Zeit als vierte Dimension, in der sich alle Objekte und Wesen der Welt bewegen. Aus ihrer Sicht leben wir in einem »Raum-Zeit-Kontinuum«

im Zug selbst vergeht die Zeit hingegen unverändert (siehe Grafik unten).

Einstein begründet diesen spektakulären Effekt, die „Zeitdilatation“, mit komplizierten Überlegungen und Berechnungen. Doch eines kann er nicht bieten: einen messbaren Beweis.

Auf der Erde sind die Abweichungen, die Einstein postuliert, viel zu gering; die Geschwindigkeiten schlicht zu klein. Um 1905 kann keine Uhr die Zeit so genau messen, um einen der berechneten Unterschiede zu erkennen.

Einen nachvollziehbaren Beleg ermöglichen gut 60 Jahre später hochpräzise Atomuhren, in denen die rasante Schwingung von Cäsium-Atomen das Zeitmaß vorgibt. Im Oktober 1971 bringen die US-Physiker Joseph Hafele und Richard Keating vier solcher Zeitmesser in Linienmaschinen unter. Für die Uhren, jede so groß wie eine Kommode, müssen die Forscher zwei Tickets lösen: In das Namensfeld lassen sie „Mr. Clock“ eintragen.

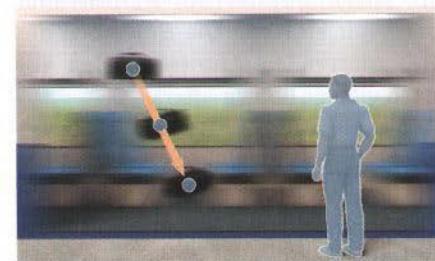
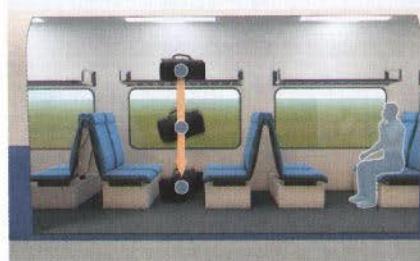
Nach der Landung vergleichen sie die Zeitmesser mit einer baugleichen Uhr in Washington, D. C. – und erkennen: Im Verlauf ihres Fluges verzögerte sich der Takt der Atomuhren um 60 Mil-

zwei Sekunden die Erde umkreisen. Durch den 54 Meter langen Kanal eilen sie in jeder Sekunde 350 000-mal.

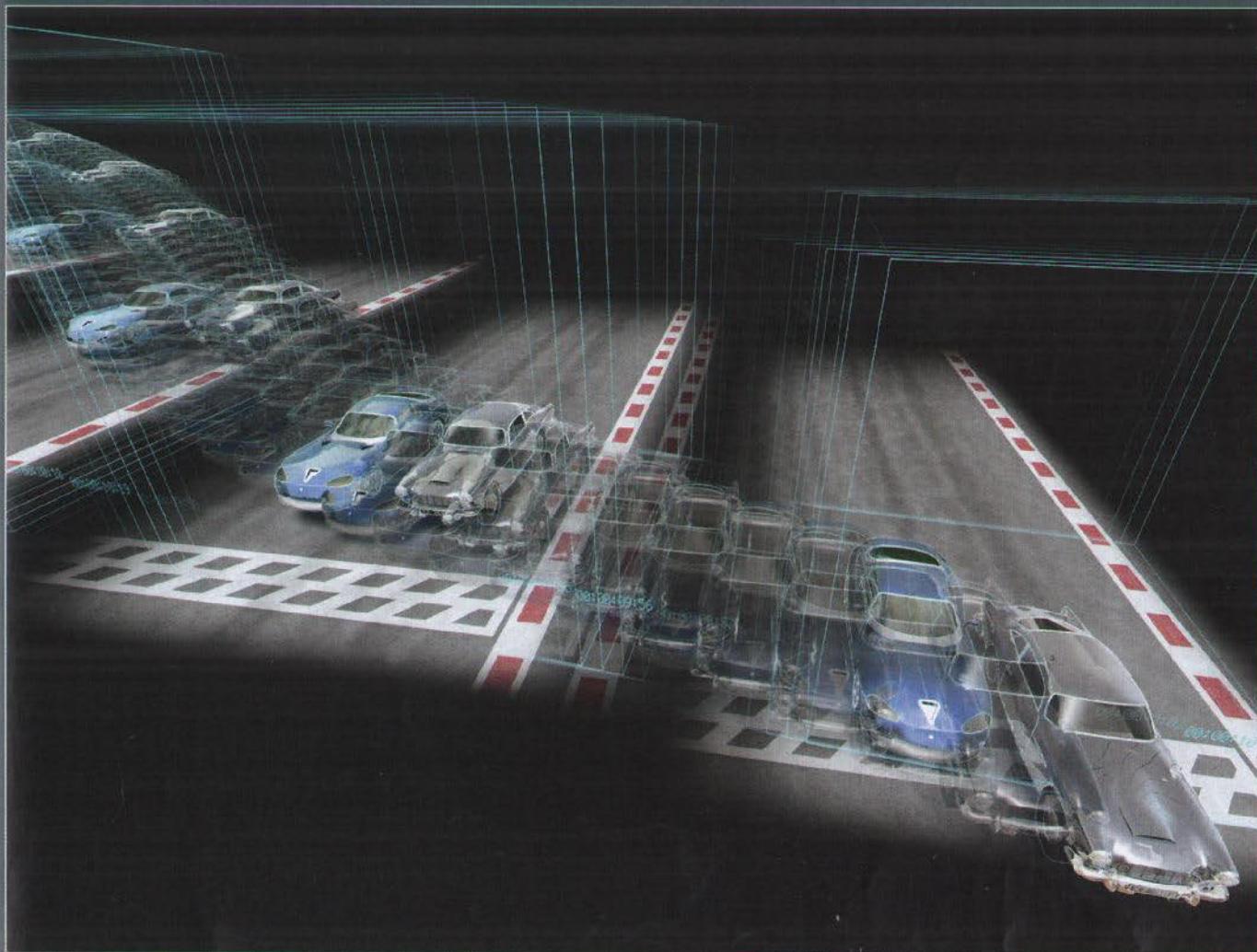
Die Lithium-Teilchen verfügen über eine Art „innere Uhr“: Sie schwingen in sich selbst. Und während sie im Parcours nach und nach ihre Runden drehen, verlangsamt sich der Takt dieser Schwingung in jeder Sekunde im Vergleich zu den Uhren an der Kontrollstation um rund zwei Millisekunden.

Nichts anderes hat Einstein vorausgesagt – obwohl unser eigenes Gefühl,

Köln, 21. September 1908. Ein Mann mit akkurat gewirbeltem Schnauzbart tritt vor die versammelten Mitglieder der Gesellschaft Deutscher Naturforscher und Ärzte. „Meine Herren“, beginnt Hermann Minkowski. „Von Stund an sollen Raum für sich und Zeit für sich völlig zu Schatten herabsinken, und nur noch eine Art Union der beiden soll Selbstständigkeit bewahren.“



Warum Zeit relativ ist: Ein Lichtsignal (hier veranschaulicht durch einen fallenden Koffer) bewegt sich für den Reisenden in der Bahn (oben links) senkrecht nach unten, für den Beobachter am Bahnsteig (oben rechts) jedoch auf einer schrägen und damit längeren Strecke. Da die Lichtgeschwindigkeit – das Verhältnis von Lichtweg zur Zeit – für beide gleich groß ist, vergeht die Zeit in der Bahn für den außenstehenden Beobachter demnach langsamer als seine eigene



Die vierte Dimension

Die Bewegung in den drei Dimensionen des Raumes ist uns vertraut, die Bewegung in der Zeit wirkt dagegen fremd: Ein Auto etwa hat eine Position, die bestimmt wird durch die Koordinaten Höhe, Breite und Länge, selbst wenn es sich in Bewegung setzt. Doch außerdem bewegt sich jedes Gefährt, ob es stillsteht oder fährt, permanent durch die Zeit – also in die Zukunft. Ohne die exakte Angabe seiner Position zu einem bestimmten Zeitpunkt wird man den Wagen also nicht genau lokalisieren können. Forscher sehen die Zeit daher als vierte Dimension. Um zumindest ein Gefühl dafür zu entwickeln, kann man sich die Bewegung in der Zeit als zusätzliche Bewegung im Raum vorstellen, etwa beim Überholvorgang eines Autos (oben, v. l. n. r.)

Ein umständlicher, ja großspurig geschraubter Satz. Und doch ist es wohl einer der bekanntesten, die je ein Wissenschaftler formuliert hat. Denn in seinem Vortrag stellt der Professor der Universität in Göttingen auf mathematische Weise eine Überlegung an, die sich aus Einsteins Theorie ergibt: Wer die Zeit betrachtet, muss auch über den Raum nachdenken. Denn beide lassen sich nicht voneinander trennen.

Minkowski, der den Studenten Einstein einst einen „faulen Hund“ genannt hat, zeichnet Zahlen und Formeln, skizziert Pfeile, Striche, geschwungene Linien. Am Ende seiner Darbietung ist klar: Die Physik wird nicht mehr so sein wie zuvor.

Im Kern erklärt Minkowski Folgendes: Auf einer zweidimensionalen Flä-

che, etwa einer Landkarte, benötigt man zwei Zahlen, um einen Punkt zu bestimmen – die Länge und die Breite. Kommt die Höhe als dritte Dimension hinzu, kann man den Standort jedes Punktes im Universum bestimmen.

So lässt sich etwa die Ecke eines Tisches in einem Zimmer verorten, indem man angibt, dass sie 1,20 Meter vom Boden entfernt ist, 2,50 Meter von einer Wand und 1,70 Meter von einer anderen. Diese drei Koordinaten, das wissen nicht nur Physiker, genügen.

Eigentlich ist aber noch eine vierte Angabe nötig: die Zeit. Ohne die genaue Angabe des Zeitpunktes, zu dem der Tisch im Raum steht, würde man dessen Ecke verfehlt. Denn womöglich ist er erst kürzlich dort abgestellt worden. Noch anschaulicher wird es, wenn man

sich einen Vogel vorstellt, der im Raum umherfliegt. Nur mit der Angabe der Zeit lässt er sich genau lokalisieren.

Und selbst wenn ein Objekt vermeintlich still an einem Ort verharrt, so bewegt es sich doch immer noch – nämlich von der Gegenwart in die Zukunft.

• den psychologischen Zeitpfeil. Wir nehmen eine Richtung der Zeit wahr, weil wir keine andere kennen. Unser Bewusstsein konstruiert einen chronologischen Ablauf, eine Folge von Ursache und Wirkung. Das Gedächtnis kennt die Vergangenheit, unsere Sinne nehmen

schwindet das sinnvolle Motiv der Teile. Je kräftiger man die Schachtel schüttelt, desto unwahrscheinlicher wird es, dass überhaupt noch etwas vom eigentlichen Bild zu erkennen ist. Wie die Puzzleteile strebt auch die Welt, vereinfacht gesagt, immer zum Zustand größter Unordnung – einem Zustand nämlich, in dem es die meisten Möglichkeiten gibt.

Ist die Ordnung einmal verloren, wird sie nie wieder von selbst in den ursprünglichen Zustand zurückkehren: Eine Tasse, die zerbrochen ist, kann sich nicht selbst neu zusammenfügen.

In der Sprache der Physik heißt dieser natürliche Ablauf des Weltgeschehens „Entropie“ (von griech. *entrépein* = umkehren). Sie ist es, die der Zeit ihre unverrückbare Richtung aufzwingt. Damit etwa eine Atomuhr läuft, muss man ihr immerzu neue Energie zuführen. Der umgekehrte Weg ist in der Realität unmöglich: Sie kann nicht fortwährend selbst Energie aus der Umwelt aufnehmen – und somit rückwärts laufen.

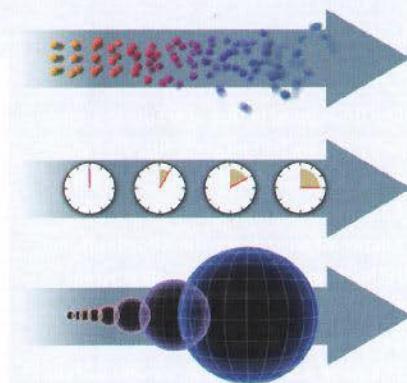
• den thermodynamischen Zeitpfeil. Die meisten Vorgänge in der Welt lassen sich nicht umkehren. Ein Beispiel: Wenn man in einer Schachtel Puzzleteile schüttelt, die anfangs ein Bild ergeben haben, so werden sie allmählich durcheinandergeworfen und erhalten eine neue Anordnung. Mit der Zeit ver-

die Gegenwart wahr, und unsere Erfahrung lässt uns die Zukunft erahnen. Was allerdings bedeutet, dass möglicherweise nicht die Realität in eine Richtung voranschreitet, sondern unser Gefühl.

• den kosmologischen Zeitpfeil. Aus reiner Energie, zusammengepresst auf einen einzigen Punkt, entstanden vor rund 13,7 Milliarden Jahren Materie, Raum – und Zeit. Dieser kosmische „Urknall“ ist aus Sicht von Physikern der Beginn des Universums. Seither dehnt sich das All aus. Und gibt dabei auch der Zeit eine Richtung.

Der Universalgelehrte Gottfried Wilhelm Leibniz, ein Zeitgenosse Newtons, stellte sich das Universum 1715 als „Uhr Gottes“ vor: Einmal aufgezogen und angestoßen, läuft sie immerfort. Physiker der Moderne gehen entsprechend davon aus, dass die Zeit beim Urknall in Gang gesetzt wurde.

Der US-Physiker Lawrence Schulman hat die Expansion des Universums seit dem „Big Bang“ am Computer simuliert – und kam zu einem spekulativen Ergebnis: Sollte der Kosmos irgendwann aufhören zu expandieren und stattdessen schrumpfen, so würde sich der Zeitpfeil umdrehen; die Zeit liefere im „Rückwärtsgang“. Dann würde sich das Geschehen umkehren, Meteoriten fielen nicht auf die Erde, sondern flögen von ihr fort, Menschenleben verliefen vom Tod zur Geburt.



Wissenschaftler unterscheiden drei wesentliche »Zeitpfeile«: den physikalischen, in dem die Zeit durch die Gesetze der Thermodynamik ihre Richtung erhält und das Weltgeschehen stets nach dem Zustand der größtmöglichen Unordnung strebt (oben); den psychologischen (Mitte), in dem unser Gehirn das Verstreichen der Zeit konstruiert; den kosmologischen, in dem die Zeit der Expansion des Universums folgt (unten)

Die Ordnung von Gestern und Heute

Anders als durch die drei Dimensionen des Raumes können wir uns in der Zeit nur in eine Richtung bewegen – nämlich von der Gegenwart in die Zukunft. Diese Abfolge ist unumkehrbar. Um dieses Phänomen zu verdeutlichen, bedienen sich Wissenschaftler eines Bildes, das ebenso nur in eine Richtung weist: des Pfeils

Nach Minkowskis Vortrag in Köln prägen Mathematiker und Physiker für die vier Dimensionen der Welt einen neuen Begriff: „Raum-Zeit-Kontinuum“ (oder kurz: „Raumzeit“).

Einen wichtigen Unterschied scheint es zwischen den drei Dimensionen des Raumes sowie der vierten Dimension der Zeit allerdings zu geben:

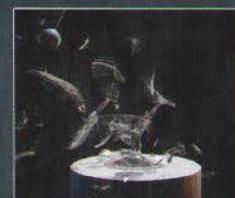
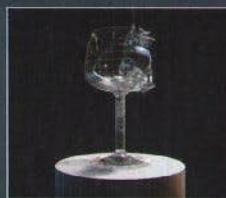
Im Raum können wir uns in jeder beliebigen Weise bewegen, nach oben oder unten, vorn oder hinten, rechts oder links. Und vermögen wir die Lage der Dinge im Raum einmal nicht zu verändern, so können wir uns selbst bewegen und eine neue Perspektive einnehmen – was uns zuvor fern war, ist dann nah.

Die Zeit hingegen trägt uns ohne unser Zutun mit sich davon. Wir können uns in ihr immer nur in eine Richtung bewegen: in die Zukunft. Wenn ein Ereignis ein anderes nach sich zieht, kann nur das eine die Ursache, das andere die Wirkung sein. Niemals kann das spätere das frühere beeinflussen.

Aber wieso verstreicht die Zeit im Universum nur in eine Richtung? Wieso können wir nicht mal in der Vergangenheit leben, mal in der Zukunft?

Auch diese theoretisch klingenden Fragen beschäftigen Physiker. Denn diese Eigenart der Zeit ist keineswegs eine selbstverständliche Notwendigkeit.

Auf der Suche nach Antworten nutzen die Wissenschaftler ein Bild, das ebenso wie die Zeit nur in eine Richtung weist: den Pfeil. Sie unterscheiden vornehmlich drei Typen:



Der Ablauf der Dinge

Unaufhaltsam fließt die Zeit dahin – über den kurzen Moment der Gegenwart in die unbekannte Zukunft – und wird dann zur unverrückbaren Vergangenheit. Physiker erklären dies mit einem Grundprinzip der Welt: Die meisten Vorgänge lassen sich nicht umkehren. Zerschlägt etwa ein Pendel ein Glas, wie oben illustriert, so fügen sich die Splitter nicht wieder von selbst zusammen. Dieses Prinzip verleiht der Zeit ihre unumkehrbare Richtung

Möglicherweise aber, so vermutet es zumindest Lawrence Schulman, würde sich in unserer Wahrnehmung gar nichts ändern: Wie gewohnt hätte die Zeit ja nur eine Richtung. Zwar umgekehrt, aber eben doch nur eine.

Manche Forscher – für die einen sind sie kühne Visionäre, für andere verirrte Fantasten – lässt die Idee nicht los, die Richtung der Zeit zu manipulieren, einen uralten Menschheitstraum zu verwirklichen: die Reise durch die Zeit. Etwa mithilfe

sogenannter Wurmlöcher (siehe auch Seite 31).

Von diesem Ziel sind die Physiker noch weit entfernt. Doch auf der Grundlage von Einsteins Relativitätstheorie und Minkowskis mathematischen Darstellungen verstehen sie heute die Geometrie der Raumzeit immer besser. Und Schritt für Schritt sind sie dabei, immer genauer zu ergründen, wie sich die Ähnlichkeit von Raum und Zeit beispielsweise auf die Eigenschaften von Sternen und Galaxien auswirkt.

III.

Die Krümmung der Zeit: Wenn Masse das Tempo bestimmt

Berlin/Göttingen, 1915. Während des Ersten Weltkriegs liefern sich zwei Giganten der Wissenschaft einen erbitterten Wettstreit – mit dramatischen Konsequenzen für das Verständnis der Zeit. In Berlin und Göttingen versuchen Albert Einstein und David Hilbert, damals der bedeutendste Mathematiker

Die beiden Denker verändern das Bild der Schwerkraft: Denn es sieht nur so aus, als zöge ein Körper einen anderen an. Tatsächlich verformen Masse und Energie die Raumzeit, verkürzen und krümmen sie.

Materie, das wusste schon Newton, hat eine Masse. Die Erde hat eine Masse von 6000 Trillionen Tonnen, die Sonne 333 000-mal so viel. Diese Masse ist so groß, dass sie an Zeit und Raum zerrt, sie verformt wie zähflüssigen Sirup.

Und dann: Einstein!

Am 25. November 1915 stellt er in Berlin den Professoren der angesehenen Preußischen Akademie der Wissenschaften seine Theorie der Raumzeitkrümmung mit Formeln unter Beweis. Und schafft damit die Gravitationskraft, so wie man sie bisher verstand, ab.

Bis heute zählen seine Gleichungen zu den anspruchsvollsten Berechnungen der Physik. Gemessen an der Gedankenakrobatik dieser „Allgemeinen Relativitätstheorie“, sagt Einstein später, seien seine Grübeleien von 1905, die „Spezielle Relativitätstheorie“, ein Kinderspiel gewesen.

Doch auch diesmal vermag er kaum wissenschaftliche Messdaten zu bieten. Einstein kann seine Behauptungen, so brillant sie auch sein mögen, eben doch nur ausrechnen. Immerhin ermöglichen seine Angaben aber Voraussagen, die sich überprüfen lassen.

Wenn große Massen wirklich die Raumzeit krümmen, so müsste auch das Licht auf bestimmte Weise von seinem Weg durch das All abgelenkt werden. Und tatsächlich: Der Astronom Arthur Stanley Eddington beobachtet bei einer Sonnenfinsternis im Jahr 1919 über der westafrikanischen Küste, wie Sternenlicht von seiner geraden Bahn abgelenkt wird. Die Sterne in der Nähe

Das Rätsel der Gravitation

Alles, was Masse besitzt, zieht sich gegenseitig an, entdeckte im 17. Jahrhundert der Physiker Isaac Newton. Auch im Kosmos wirkt diese allgegenwärtige Kraft, die Gravitation. Doch 1915 entwarf Einstein ein anderes Bild: Es sieht nur so aus, als zögen sich Massen an. Tatsächlich aber verformen sie den Raum – und die Zeit

der Welt, eine der wichtigsten Säulen der bis dahin gültigen Physik umzudeuten: die Gravitation.

Nach deren Entdecker Isaac Newton handelt es sich dabei um eine universale Kraft, die dann ihre Wirkung zeigt, wenn zwei Körper einander anziehen (daher wird sie auch „Schwerkraft“ oder „Anziehungskraft“ genannt). Ohne sie würde kein Gegenstand auf der Erdoberfläche bleiben, ohne sie würden die Planeten aus dem Bannkreis der Sonne in die Weite des Weltalls hinausdriften.

Die Schwerkraft wirkt unmittelbar, ohne Zeitverzögerung – so zumindest das Verständnis um 1915. Erlischt die Sonne plötzlich, würde es erst etwa acht Minuten später auf der Erde dunkel werden, denn so lange braucht das Licht, um den Weg zu unserem Planeten zurückzulegen. Das Fehlen der Gravitation aber wäre sofort spürbar, meinen die Physiker: In dem Moment, in dem die Sonne verschwindet, würde die Erde aus ihrer Bahn geworfen.

An eine solch magische Fernwirkung der Gravitation, bei der keine Zeit vergeht, wollen Hilbert und Einstein nicht glauben. Denn nichts kann sich schneller bewegen als Licht. Das ist eine Folgerung aus den Formeln der Relativitätstheorie. Also kann auch die Schwerkraft ihre Wirkung nicht schneller entfalten.

Das kann man natürlich nicht unmittelbar sehen – aber die Verbiegungen geben ihrerseits der Masse vor, wie sie sich zu bewegen hat.

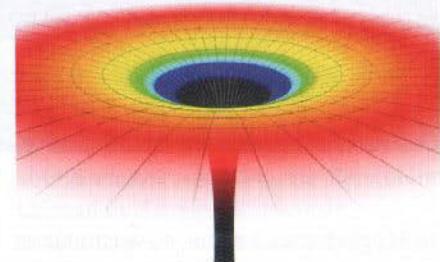
Die Raumzeit ist also nicht statisch und unbeweglich, keine leere Bühne, auf der Materie und Energie die Welt formen, sondern ein flexibles Gebilde.

Sie verfügt über eine eigene Struktur, die durch Massen und Energie verändert wird. Man kann sich die Raumzeit vorstellen wie einen elastischen Würfel aus Schaumgummi. Drückt man eine Kugel hinein, wird das Material verformt.

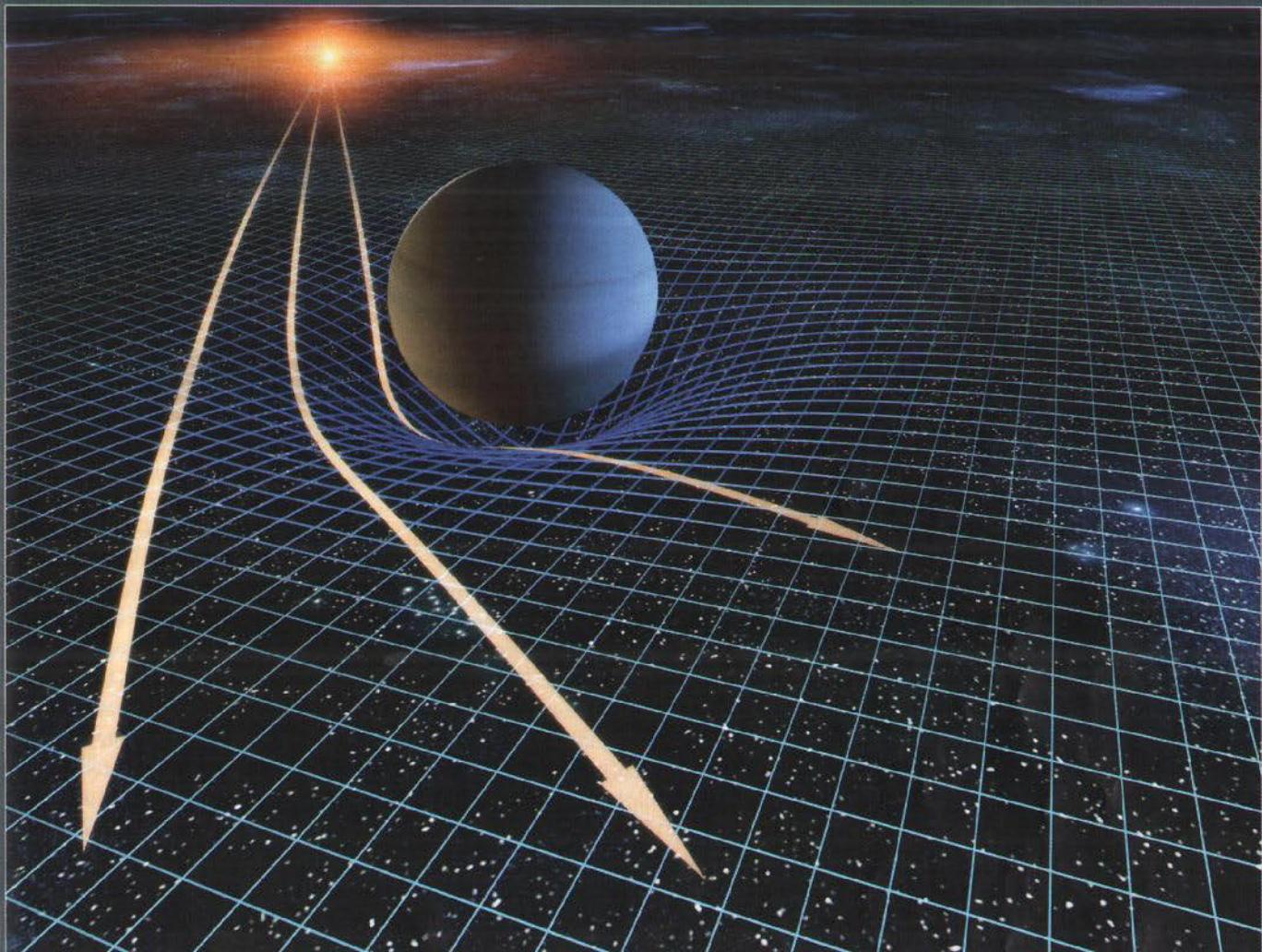
Ähnlich beeinflussen Massen und Energie die Raumzeit. Um einen Apfel ebenso wie um einen Planeten oder einen Stern. Je größer dabei die Masse, desto stärker ist die Veränderung.

Diese merkwürdige Erkenntnis hat auch für die Zeit große Tragweite: In der Nähe von zusammenballter Masse wird die Zeit gedehnt, sodass sich, vereinfacht gesagt, mehr Zeit auf engerem Raum befindet – sie vergeht also langsamer als in weiterer Entfernung.

Wochenlang suchen Einstein und Hilbert nach mathematischen Hilfsmitteln, mit denen sie ihre Überlegungen begründen können. Und: Jeder will der Erste sein, der Eine, der Entdecker. Sie senden sich Briefe zu, loten aus, wie weit der andere vorangeschritten ist.



Stillstand der Zeit: Am Ende ihrer Existenz kollabieren schwere Sterne und verwandeln sich in sogenannte Schwarze Löcher. Die Masse eines solchen Himmelsobjektes ist derart gewaltig, dass der umliegende Raum extrem gekrümmt und die Zeit gedehnt wird; von außen nach innen (rot bis blau) nimmt dieser Effekt weiter zu, bis sie im Zentrum (schwarz) vollkommen stillsteht.



Die Macht der Masse

Die Allgemeine Relativitätstheorie besagt: Raum und Zeit sind untrennbar miteinander verbunden. Sie bilden die »Raumzeit« (hier als Gitter dargestellt). Diese »Raumzeit« wird von jeder großen Masse verformt. Das kann man etwa an Lichtstrahlen erkennen: In großer Entfernung von massereichen Sternen bewegen sich die Strahlen fast geradlinig durchs All (o. l.). Dagegen werden sie in der Nähe von mächtigen Himmelskörpern, die den Raum krümmen, von ihrer Bahn abgelenkt (M.). Und je näher die Strahlen an der Masse vorbeistreichen, desto stärker ist die Ablenkung (o. r.). Zugleich dehnen die kosmischen Massen die Zeit: Vom Standpunkt eines weit entfernten Beobachters verläuft sie in der Nähe der Masse langsamer

der Sonne wirken am Firmament verschoben – und zwar genau so, wie Einstein es berechnet hatte.

Zudem stellt sich heraus, dass auch die Zeit sich verformt, indem sie gedehnt oder gestaucht wird. Auf der Erde ist dieser sonderbare Effekt zwar minimal, aber tatsächlich messbar: Legt man eine Uhr auf einen Berg von 1000 Meter Höhe und eine baugleiche Uhr ins Tal, so wird die Uhr am Gipfel im Verlauf von einer Million Jahren um drei Sekunden schneller gehen. Denn die Bergspitze ist etwas weiter vom Erdmittelpunkt entfernt – dem Mittelpunkt der größten Masse in ihrer Umgebung.

Deshalb ist die Raumzeitkrümmung nicht nur für Physiker bedeutsam – auch Kapitäne und Piloten, Autofahrer und Wanderer sind täglich auf sie angewie-

sen. Denn ohne Einsteins Berechnungen würde das „Global Positioning System“ nicht korrekt funktionieren.

Mit diesem Satelliten-Navigationsystem lässt sich jeder Standort auf unserem Planeten binnen Sekunden bestimmen – mit einer Genauigkeit von einigen Metern. Damit es funktioniert, müssen die Uhren auf der Erde und an Bord der Satelliten präzise übereinstimmen. Aber das ist wegen der Krümmung der Raumzeit nicht einfach: Die Uhren an Bord der künstlichen Trabanten, die in 20000 Kilometer Höhe kreisen, gehen täglich um 45 Millionstelsekunden schneller als die auf der Erde.

Ohne Korrektur würde die GPS-Flotte völlig falsche Werte liefern. Deshalb haben die Ingenieure des Systems die Uhren auf einen langsameren Takt

eingestellt. So stellen sie sicher, dass die Zeitangaben überall synchron sind.

Um aber die Bewegung von Körpern auf der Erde zu erklären, nutzen Physiker noch heute häufig Newtons Konzept der Gravitation. Denn begreift man sie als eigenständige Naturkraft, so lassen sich viele einfache Phänomene leicht erklären.

Doch eben nicht alle, wie Einstein zeigte, als er entdeckte, dass sich hinter der Gravitation in Wirklichkeit die Eigenschaften der Raumzeit verstecken.

IV

Die Atome der Zeit: Auf der Suche nach der kleinsten Dauer

Um 500 v. Chr., Ephesos. Vermutlich ist es der Philosoph Heraklit, der die Zeit erstmals mit einem Fluss vergleicht: Ein wichtiges Merkmal der Welt sei die stetige Veränderung, die unaufhörliche Folge von Werden und Vergehen. Heraklit lebt in Ephesos, einer von Persern besetzten griechischen Kolonie nahe der kleinasiatischen Mittelmeerküste.

Doch kurz darauf wächst im Norden Griechenlands ein Mann heran, der das ganz anders sieht: ein Gelehrter namens Demokrit. Der behauptet, Materie

mit seiner Behauptung der Wirklichkeit näher gekommen ist. Heraklit prägt ein Bild, das uns zumeist in den Sinn kommt und leicht nachvollziehbar erscheint: Die Zeit verfließt – gleichförmig, unaufhaltsam, unumkehrbar.

Doch auch Demokrits Idee ist faszinierend geblieben. Immerhin hatte der Gelehrte mit seiner Theorie der Materie ja recht, wie die moderne Atomphysik erwiesen hat.

Müsste man sich also auch die Zeit als Strom von Atomen vorstellen? Ist der stete Gang der Zeit nur eine Täuschung? Ruckt sie in Wirklichkeit in winzigen Schritten von einem Zustand zum nächsten?

Der US-Physiker Alan Lightman vergleicht die Vorstellung der unsteten Zeit mit einem Netz von einzelnen Nervenzellen, die an bestimmten Punkten aneinanderhängen. Sie leiten gemeinsam ein Signal weiter, doch jede Faser existiert für sich allein: „Ein nervöser Impuls durchfließt einen Zeitabschnitt, bricht plötzlich ab, hält inne, überspringt ein Vakuum und fließt im angrenzenden Abschnitt weiter.“

Seit den 1920er Jahren fahnden Physiker nach diesen Zeit-Atomen. Erfollos. Doch inzwischen gehen sie einfach davon aus, dass es einen minimalen

nach dem Komma: 0,0000000000
000000000000000000000000000000
000001 Sekunden.

Um dieses Zeit-Atom ausfindig zu machen, müssten Forscher eine Sekunde in Millionen Teile zerlegen, wieder und wieder. Am besten mit extrem schnellen Stoppuhren, die mit Lasern arbeiten. Die besten stehen in den Laboren von Forschern, die das Innere von Atomen ergründen.

Ihre Apparate senden äußerst kurze Laserblitze aus, und der bislang kürzeste gelang Forschern 2008 am Max-Planck-Institut für Quantenoptik in Garching: Das Licht strahlte für nur 80 Attosekunden. Dieses Bruchstück einer Sekunde ist aberwitzig kurz: Eine Attosekunde verhält sich zur Sekunde etwa so wie eine Sekunde zum Alter des Universums, also zu 13,7 Milliarden Jahren.

Forscher der Technischen Universität Wien haben kürzlich gar einen Plan ausgetüftelt, wie man zu einer Yoctosekunde vordringen könnte – dem millionsten Teil einer Attosekunde.

Und doch: Gegenüber der Planck-Zeit dauert selbst dieses Splitterchen eines Zeitsplitters unfassbar lange.

Von der Grenze, hinter der sich die Zeit nicht mehr weiter spalten lässt, sind Physiker also noch weit entfernt. Sie können deshalb bis heute nicht sagen, ob die jahrtausendealte Theorie der kleinsten Zeitteilchen stimmt.

Im Jahr 2003 fand ein internationales Forscherteam vom Max-Planck-Institut für Astronomie in Heidelberg und dem Astronomischen Observatorium in Florenz allerdings einen wichtigen Hinweis darauf, dass Demokrits Vermutung falsch sein könnte – und die Zeit eben doch so kontinuierlich verfließt, wie es Heraklit vermutet hatte.

Mit dem Hubble-Weltraumteleskop, das die Erde in 575 Kilometer Höhe umkreist, beobachteten die Forscher eine mehr als fünf Milliarden Lichtjahre entfernte Galaxie sowie eine Sternenexplosion. Gäbe es die winzigen Zeitpartikel wirklich, so hätten sie das Licht der fernen Welten auf seiner Reise zu den irdischen Beobachtern ein wenig verzerrt – so wie selbst minimale Luftbewegungen in der Atmosphäre das Licht der Sterne

Im Strom der Zeit

Denken wir an die unaufhörliche Folge von Werden und Vergehen, kommt uns häufig ein bestimmtes Bild in den Sinn: der Fluss. Denn so stetig, wie Wasser strömt, scheint die Zeit zu vergehen. Doch manche Physiker vermuten: In Wirklichkeit könnte die Zeit aus Teilchen bestehen – und von Moment zu Moment springen

bestehe aus winzigen Teilchen, aus „Atomen“. Und nicht nur die Materie, auch die scheinbar kontinuierliche Zeit sei in Wirklichkeit eine Ansammlung kleiner Partikel, gleichsam eine unendliche Reihe von Bildern der Gegenwart, die wir im Leben abtasten, eins nach dem anderen. Demokrit hat diese Idee zwar von dem Philosophen Leukipp übernommen, doch er leitet daraus als Erster eine umfassende Theorie ab.

Bis heute rätseln Forscher darüber, welcher der beiden antiken Zeitforscher

Zeitraum geben muss, in dem die bekannten Gesetze der Natur gerade noch gelten; man kann das ausrechnen. Die Physiker nennen dieses kleinste Partikel die „Planck-Zeit“, nach einem ihrer Helden, dem Deutschen Max Planck.

Sie ist so klein, dass man sie bis heute nicht messen kann – ja es fällt sogar schwer, zu dieser Zeitspanne überhaupt ein Gefühl zu entwickeln: Sie beträgt etwa einen zehnten Teil eines Trilliardstels einer Trilliardstelsekunde. Das entspricht einer Zahl mit 42 Nullen



Tunnel durch Raum und Zeit

Manche Physiker spekulieren, dass extrem große Massen das Raum-Zeit-Kontinuum derart stark verbiegen können, dass zwei weit entfernte Himmelskörper scheinbar nahe aneinanderrücken - wie zwei Punkte auf einem gebogenen Papier. Quer durch Raum und Zeit könnte dann eine Verbindung entstehen, ein »Wurmloch« - gleichsam eine Abkürzung zwischen zwei weit entfernten Orten

Der Traum vom Ausflug in die Zukunft

Wir stellen uns eine Reise durch Raum und Zeit als gerade Linie vor. Was aber, wenn das Universum gebogen wäre und es Abkürzungen gäbe? Könnten wir dann in die Zukunft oder die Vergangenheit reisen?

Nach der Einstein'schen Relativitätstheorie sind Reisen in die Zukunft theoretisch möglich. Bewegt sich etwa ein Raumschiff mit annähernder Lichtgeschwindigkeit von der Erde fort durch den Weltraum, so vergeht für die Besatzung nicht so viel Zeit wie für Erdbewohner. Kehrt das Raumschiff zurück, landet es in der Zukunft (siehe Seite 23).

Weniger Zeit vergeht auch, wenn sich das Raumgefäß in der Nähe eines Himmelskörpers mit extrem großer Masse befindet, weil diese den Gang der Uhren bremst. Die Raumreisen wären der Zeit auf der Erde voraus (siehe Seite 29).

Aber es gibt noch ein weiteres Szenario, wie Reisen durch die Zeit möglich sein könnten. Es basiert auf der Vorstellung eines Tunnels, der mitten durch die Raumzeit führt. Denn die, so wissen Physiker, krümmt sich unter der Masse der Gestirne, ähnlich wie ein gebogenes Blatt Papier. Zwischen zwei weit voneinander entfernten Himmelskörpern könnte nun quer durch die gekrümmte Raumzeit eine Verbindung entstehen, ein sogenanntes Wurmloch. Es wäre eine Wegabkürzung, eine Art Röhre im Universum, vergleichbar einem Tunnel durch ein Bergmassiv.

Ein Astronaut könnte durch dieses Wurmloch in kürzester Zeit (und zwar schneller als das Licht, das seinen Weg ja durch den

gekrümmten Raum nehmen muss) an einen anderen Ort und in eine andere Zeit gelangen - und bei seiner Rückkehr womöglich sogar in der Vergangenheit landen.

Die Möglichkeit eines Besuchs in früheren Zeiten bringt allerdings große logische Probleme mit sich. Denn solche Reisen verstößen gegen das Gesetz von Ursache und Wirkung - eines der Grundprinzipien der Physik. Es besagt, dass Ereignisse, die sich kausal aufeinander beziehen, zeitlich nur in eine Richtung erfolgen können. Während demnach die Zukunft offen vor uns liegt, ist das Vergangene festgeschrieben. Eine Reise zurück in die Zeit brächte diese kausale Ordnung durcheinander - was etwa wäre, wenn der Reisende seinem eigenen Großvater begegnete, ihn aus irgendeinem Grund tötete und so die eigene Existenz verhinderte?

Obwohl bislang noch kein Wurmloch beobachtet worden ist, vermuten Physiker, dass Miniaturformen dieser Kanäle irgendwo in der Feinstruktur des Universums existieren - sie sind allerdings vermutlich 20 Zehnerpotenzen kleiner als ein Atomkern und existieren nur 100 Billionstel Billionstel Billionstel Nanosekunden lang.

Und: Um einen solch winzigen Tunnel offen zu halten, etwa mithilfe von Magnetfeldern, wäre eine Anlage nötig, die so groß ist wie unser Sonnensystem.

Kirsten Mihahn

verschmieren (die daher auf Bildern mitunter etwas verschwommen wirken).

Doch auf den Aufnahmen des Hubble-Teleskops hinterließen die vermuteten Zeitkörnchen keine Spur: Die beobachteten Objekte waren weit aus schärfer zu erkennen als erwartet.

Sollte es Forschern jemals gelingen, die Existenz der Zeit-Atome zu belegen: Es wäre eine wissenschaftliche Sensation, reif für den Nobelpreis – und womöglich sogar die Lösung eines religiösen Rätsels.

Denn im Mittelalter beschäftigten sich Kirchengelehrte aus einem besonderen Grund mit den Zeitkörnern: Sie plagte die Frage, wie lange die Auferstehung Christi gedauert haben könnte. Und vermuteten, es müsse eine kleine, unteilbare Zeitspanne geben. Ohne sie, so die Kleriker, könnte sich das Fleisch des Messias nicht plötzlich in göttlichen Geist verwandelt haben.

Doch bislang ist es ungewiss, ob die Zeit im Sinne Heraklits ein kontinuierlicher Strom ist: stetig, ohne jede Unterbrechung.

Oder ob Demokrits Annahme zutrifft, die Zeit also „diskret“ verläuft, wie Physiker sagen: und deshalb Stück für Stück vergeht.

V.

Epilog: Die Illusion von der Zeit

Zeit lässt sich stauchen und dehnen; Zeit verrinnt nicht für jeden Beobachter unbedingt gleich; Zeit ist eine Dimension wie die Richtungen des Raumes: Schritt um Schritt entdecken Physiker Eigenarten der Zeit, die unserer Alltagserfahrung zu widersprechen scheinen.

Manche Forscher gehen sogar noch weiter. Und behaupten: Zeit existiert in Wirklichkeit gar nicht. Allein unser Geist gaukelt uns vor, es gäbe Sekunden, Minuten und Stunden.

Jeder atmet mehr oder weniger die gleiche Luft, jeder läuft über die gleiche Erde. Doch die Zeit konstruiert sich jeder selbst, sagen diese Wissenschaftler: Begriffe wie „früher“, „später“, „gleichzeitig“, „langsam“ oder „schnell“ helfen uns zwar, das Leben zu ordnen – hätten aber nichts mit der Realität zu tun.

Wer einen solchen Gedanken ausspricht, scheint sich zunächst lächerlich zu machen. Denn wenn er wahr wäre,

- die Zeit ohne Wirkung. Uhren messen nur die Abstände zwischen Ereignissen, die auf der Wirkung von Masse und Energie beruhen. Anders als diese Phänomene hat Zeit selbst eigentlich gar keinen Effekt – sie ist quasi unsichtbar.

- die Welt der kleinsten Teilchen: In manchen Berechnungen, mit denen Physiker das Geschehen im atomaren Kosmos der kleinsten Partikel, der Quanten, erklären, spielt die Zeit keine Rolle. Sie scheint als Größe nicht mehr nötig zu sein.

Ist Zeit also im Grunde nur ein Trugbild unseres Bewusstseins, eine Kopfgebur, erschaffen von den Neuronen in unserem Gehirn? Eine Erfindung des Menschen, um die Vorgänge in der Welt zu vereinfachen?

So, wie etwa Geld eine Erfindung ist, um den Tauschhandel zu vereinfachen – aber nur den Wert hat, den wir ihm selbst beimessen?

Niemand kann darauf bis heute eine befriedigende Antwort geben. Denn so ernüchternd es ist: Bislang konnten Forscher nur einzelne Facetten der Zeit erkennen – ihr Wesen selbst bleibt unverstanden.

Vielleicht zählt sie ja zu jenen Rätseln, die unser Verstand nicht fassen kann. Und vielleicht hat deshalb kein

Physiker den mysteriösen Wandel von Damals, Jetzt und Bald je treffend beschrieben. Sondern der Schriftsteller Thomas Mann. „Was ist die Zeit?“, fragte er in seinem Roman „Der Zauberberg“.

Und antwortete: „Ein Geheimnis – wesenlos und allmächtig.“ □

Bertram Weiß, 27, ist Wissenschaftsjournalist in Hamburg. Der Illustrator **Jochen Stuhrmann**, 35, arbeitet regelmäßig für GEO-kompakt. Wissenschaftliche Beratung: Dr. Hans-Peter Nolert, Institut für Astronomie und Astrophysik, Universität Tübingen.

Literaturempfehlungen: Harald Fritzsch, „Eine Formel verändert die Welt“, Piper; in der Fülle der Bücher über Einsteins Einsichten eines der anschaulichsten Werke: Stephen Hawking, „Die illustrierte kurze Geschichte der Zeit“, Rowohlt; leicht verständliche und reich bebilderte Darstellung der physikalischen Zeitforschung: Jim Al-Khalili, „Schwarze Löcher, Wurmlöcher und Zeitmaschinen“, Spektrum; ein nüchtern gestalteter, klarer Überblick über fundamentale Phänomene der Zeit.

Memo: DIE PHYSIK DER ZEIT

► **Erst mit dem Urknall** vor 13,7 Milliarden Jahren entstanden Materie, Raum – und die Zeit.

► **Seither verrinnt die Zeit** nur in eine Richtung – die Abfolge von Vergangenheit, Gegenwart und Zukunft ist unumkehrbar.

► **Die moderne Physik zeichnet** ein ungewohntes Bild unserer Wirklichkeit. Sie zeigt uns, dass Zeit ganz anders ist, als wir sie erleben.

► **Zeit vergeht nicht überall gleich schnell:** Es kommt darauf an, wer sie wo misst. Zeit ist also nicht absolut – sondern relativ.

► **Außerdem dehnt Masse die Zeit.** Und: Je größer die Masse, desto extremer ist die Veränderung.

► **Zeit und Raum existieren nicht** unabhängig voneinander. Physiker sprechen deshalb von einer »Raumzeit« oder einem »Raum-Zeit-Kontinuum«.

► **Zeit gleicht womöglich** einem stetigen Fluss – oder vielleicht einem Strom winziger Teilchen.

dann könnte sich nichts verändern – die Welt stünde vermutlich still. Und doch finden sogar kühn denkende Physiker Argumente dafür, dass Zeit nichts weiter ist als eine Illusion. Sie beziehen sich dabei auf drei Phänomene:

- das Prinzip der Relativität. Ein Beobachter, der sich schnell bewegt, wird ein Ereignis zu einem anderen Zeitpunkt wahrnehmen als jemand, der langsamer vorwärts kommt – ein jeder erlebt dabei ein eigenes Zeittempo. Das „Jetzt“ des einen ist deshalb für einen anderen vielleicht schon Vergangenheit, für einen Dritten noch Zukunft. Somit kann Zeit gar nicht so eigenständig wie ein Objekt in der Realität existieren.



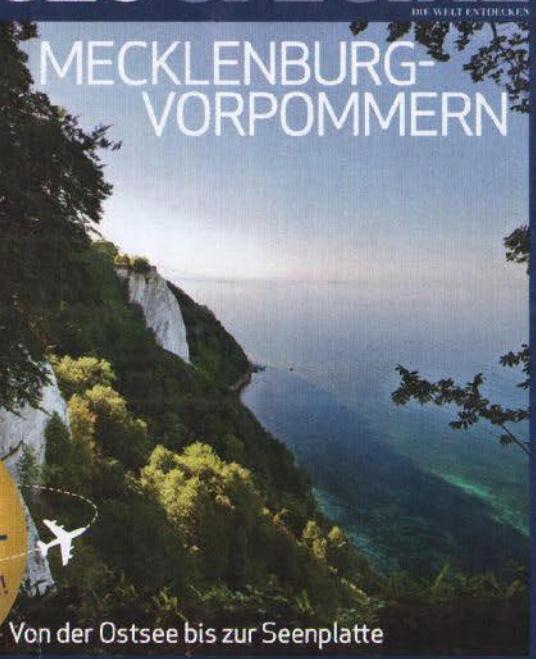
So schön, dass die Natur es mit Kreide markiert hat: Mecklenburg-Vorpommern.

Kalle Rehbein

GEO SPECIAL
DIE WELT ENTDECKEN

MECKLENBURG-
VORPOMMERN

GEO SPECIAL MECKLENBURG-VORPOMMERN 12/2011



MIT GROSSEM
JUBILÄUMSRÄTSEL

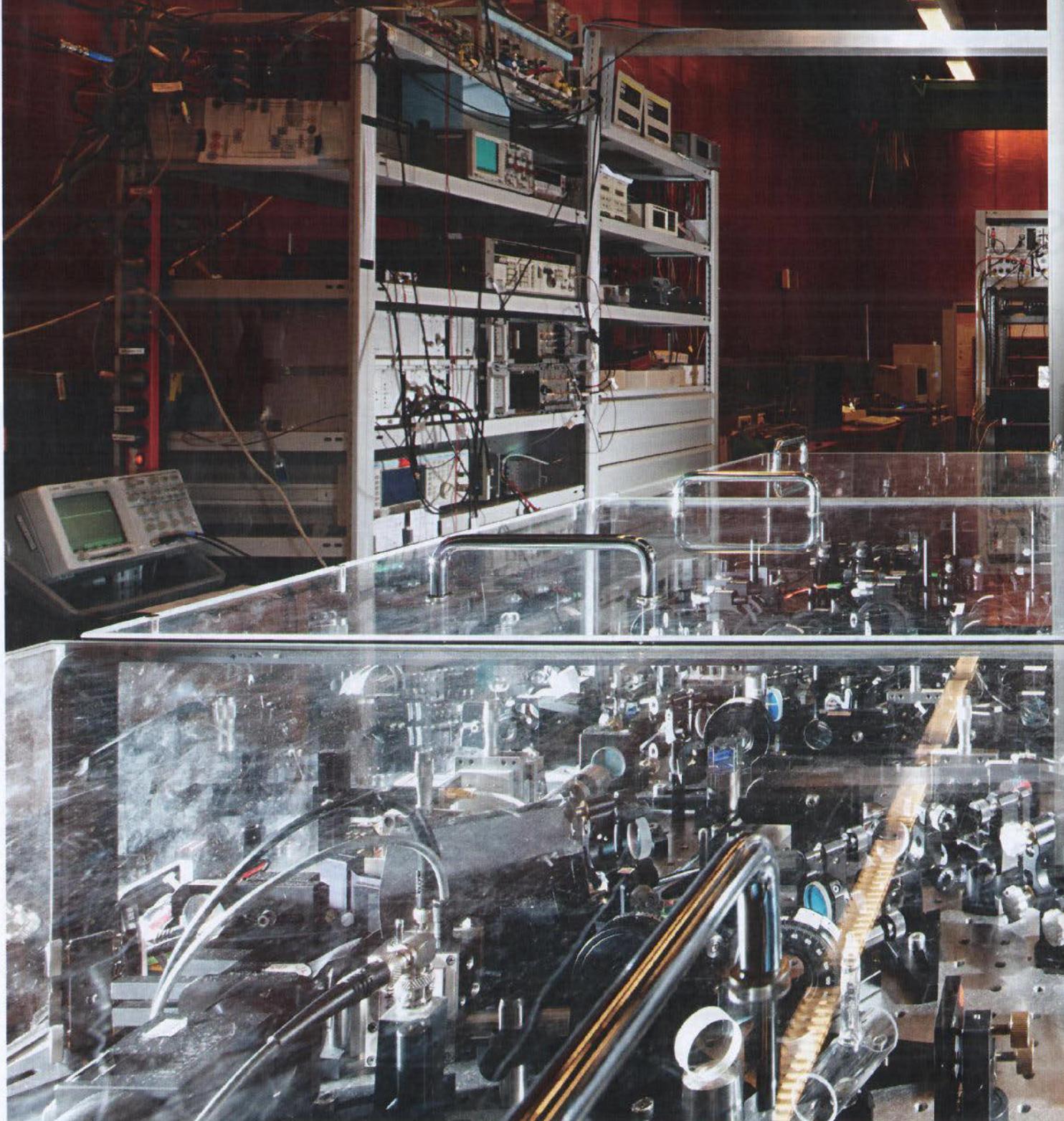
Weltreise zu gewinnen!

Von der Ostsee bis zur Seenplatte

www.geo-special.de

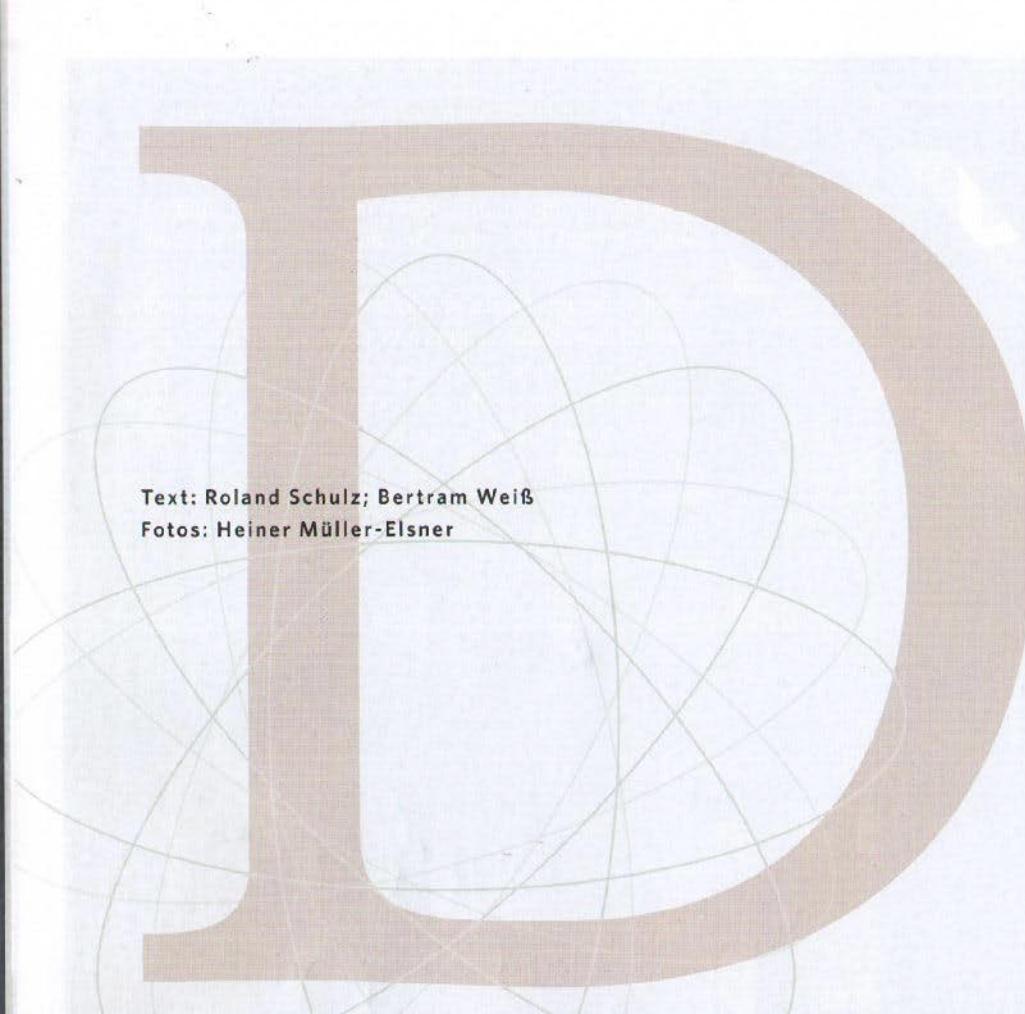
DIE WÄCHTER DER ZEIT

Die Zeit, nach der wir in Deutschland leben, ist ein Hightech-Produkt, das von Wissenschaftlern in Braunschweig hergestellt wird. Und zwar mithilfe von Atomen des Metalls Cäsium-133





Atome verfügen über unveränderliche Eigenschaften, die sie zu beinahe perfekten Uhren machen. Cäsium-133-Atome etwa senden ganz bestimmte Wellen aus, die wie ein Pendel immer im gleichen Takt schwingen: und zwar genau 9192631770 mal pro Sekunde. Dieses Phänomen nutzen Forscher an der Physikalisch-Technischen Bundesanstalt in Braunschweig, um die in Deutschland gebräuchliche Mitteleuropäische Zeit zu ermitteln. Dafür haben sie eine Atomuhr gebaut, die sogenannte »Cäsiumfontäne«. Dieses komplexe Gerät besteht unter anderem aus einer Vakuumröhre (Bildmitte), in der sich Cäsium-133-Atome befinden, und einem optischen Tisch (im Vordergrund), auf dem Laserstrahlen moduliert werden. Die Uhr vermag die Schwingungen der Atome derart genau zu erfassen, dass es rund 40 Millionen Jahre dauert, bis sie nur eine einzige Sekunde falsch geht



Text: Roland Schulz; Bertram Weiß
Fotos: Heiner Müller-Elsner

Der Mann, der die Sekunde genauer misst als jede mechanische Uhr, der sich ihr mit Laser und Atomöfen nähert, sie bis auf die 15. Stelle hinter dem Komma bestimmt, der Mann also, der die Zeit so genau kennt wie niemand sonst in Deutschland, dieser Mann sagt: „Die Zeit ist ein Mysterium.“ Sein Blick weicht dabei aus, schweift ungest umher. „Was Zeit ausmacht, weiß ich auch nicht besser als andere.“

Und doch kann Stefan Weyers sie messen – so genau wie nur wenige andere Menschen auf der Welt.

Weyers ist Atomphysiker. Für seine Doktorarbeit kam er 1991 erstmals an die Physikalisch-Technische Bundesanstalt (PTB) in Braunschweig. Seither ist der 48-Jährige, abgesehen von einigen kurzen Pausen, dort geblieben. Rund 1800 Menschen arbeiten in der Behörde, der Bundeswirtschaftsminister ist ihr oberster Chef.

Im Gebäude U, einem flachen Backsteinbau zwischen Buchen und Ahornbäumen, leitet Stefan Weyers die Arbeitsgruppe „Zeitnormale“. Seine Kollegen und er sind die Hüter der

Uhren in Deutschland: Gemeinsam bestimmen sie die offizielle Zeit, nach der jeder Mensch hierzulande lebt.

Sie kennen alle Möglichkeiten, einen Tag, eine Stunde, eine Minute oder eine Sekunde zu berechnen – durch den Stand der Sonne, verrinnenden Sand oder schwingende Quarzkristalle.

Doch diese Methoden sind zu ungenau. Weyers kann sie nicht gebrauchen

Eine Sekunde, das sind mehr als neun Milliarden Schwingungen des Atoms

für jene Aufgabe, die der Staat seiner Arbeitsgruppe durch das Zeitgesetz von 1978 übertragen hat: die in Deutschland allgemein verbindliche Zeit herzustellen und zu verbreiten.

Um diesen Job zu erledigen, braucht er Atome, denn diese verfügen über unveränderliche Eigenschaften. Das macht sie zu nahezu perfekten Uhren. Um ge-

nau zu sein – und exakt darum dreht sich seine Arbeit, um äußerste Präzision –, verwendet Stefan Weyers Atome einer besonderen Art: Cäsium-133-Atome.

Eine Sekunde ist genau das 9 192 631 770-Fache der Dauer einer charakteristischen Schwingung dieser Cäsium-Atome. „Um das genauer zu verstehen, muss man sich sehr viel Zeit nehmen“, sagt Weyers.

Deshalb überspringt er dies häufig, wenn er Besuchern seine Zeitmanufaktur vorführt. Und zeigt lieber die Uhren selbst, in denen er und seine Kollegen mithilfe des weichen, silbrig glänzenden Metalls Cäsium die Zeit in allerfeinste Qualitätssekunden zerlegen.

Was Zeit aber eigentlich genau ist, kann Weyers nicht sagen. Das will er auch gar nicht. „Da sind wir hier pragmatisch“, sagt er. Wichtiger ist ihm, überhaupt Zeit zu haben – etwa fürs Klavierspielen, am liebsten Bach.

Stefan Weyers ist ein schlanker, hochgewachsener Mann mit braunen Haaren. Er sitzt in seinem Büro, Raum 115, neben sich ein großes Fenster hinaus ins Grüne, vor sich ein Computer. An der Wand hängt eine kleine Schiebertafel wie aus der Schule, auf die mit Kreide mathematische Gleichungen und Kinderzeichnungen gemalt sind.

Zwischen dem grauen Aktenschrank und dem Schreibtisch aus hellbraunem Pressholz kann man leicht vergessen, worum es hier eigentlich geht. Denn obwohl weder Physiker noch Philosophen die Zeit genau erklären können, ja selbst deren Hüter wie Weyers ratlos sind, ist die Sekunde diejenige physikalische Einheit, die man von allen – wie die der Masse oder Temperatur – am genauesten messen kann. Bis in Bereiche, die sich jedem Verständnis entziehen.

In der PTB haben sie eine Atomuhr gebaut, mit der sie so exakt messen kön-



Der Atomphysiker Stefan Weyers, 48, leitet die Arbeitsgruppe »Zeitnormale« an der PTB. Sie ist unter anderem dafür zuständig, dass über einen Langwellensender alle Funkuhren in Deutschland – etwa auf Bahnhöfen – Sekunde für Sekunde mit der genauen Zeit versorgt werden

nen, dass es rund 40 Millionen Jahre dauert, bis diese Uhr nur eine einzige Sekunde falsch geht.

Inzwischen ist Weyers Gruppe bis an die 16. Stelle hinter dem Komma herangerückt. In dieser winzigen Dimension müssen die Forscher nicht nur die bloße Konstruktion der Zeitmesser bedenken – sondern auch, wo ihre Uhr aufgebaut ist oder wie die Apparate im Schwerkfeld der Erde positioniert sind. Denn das bestimmt nach Einsteins Relativitätstheorie (siehe Seite 20), wie die Zeit beschaffen ist, die sie messen.

„Wir wollen aber noch über die 16. Komma-Stelle hinauskommen“, sagt Stefan Weyers. „Das ist das Ziel.“

Ein Ziel, von dem Uhrmacher früherer Zeiten vermutlich nicht einmal zu träumen wagten.

DIE PTB-PHYSIKER haben die Geschichte des Uhrenbaus in ihrem Zeitlabor nachgezeichnet, in einer Ausstellung an den Wänden eines langen, stillen Ganges. Nur manchmal kommen Männer

durch eine Tür hervor und verschwinden hinter einer anderen. Gelegentlich sind Schulklassen zu Besuch oder Uhrmacher, Kegelvereine oder Politiker. Sie werden alle hierhergeführt und erfahren im Licht von Leuchtstoffröhren, wo die Zeit in Deutschland herkommt.

Am Ende des Ganges liegt hinter einer großen Doppeltür aus Stahl das Herz der Zeitnormale-Gruppe: die Atomuhrenhalle. Da kommt die Zeit her. Jeder Schritt auf dem grauen Kunststoffboden den Gang hinab ist ein Fortschritt in der Geschichte der Uhren.

Stefan Weyers steht in diesem Gang gerade ganz am Anfang: als die einzige Uhr die Erde selbst war. Die Spanne, die diese Planeten-Uhr braucht, um sich einmal um sich selbst zu drehen, ist ein Tag:

die erste Zeiteinheit. Aber wie unterteilt man einen Tag? Seit Jahrtausenden versuchen Menschen, ein unveränderliches und zugleich praktisches Prinzip aufrechtzuerhalten – die Stunden.

Mithilfe der Sonne ist das eigentlich gut zu unterscheiden: Die erste Stunde beginnt, wenn sich die Erde der Sonne zudreht und ein Tag anfängt; die zwölfte endet, wenn sich der Planet wieder vom Zentralgestirn wegdreht und es Nachmittag und schließlich Nacht wird.

Allerdings gibt es dabei ein Problem: Die Erde ist keine besonders genaue Uhr. Sie dreht sich nämlich nicht gleichförmig. Das hat mit einer Vielzahl von Faktoren zu tun, die das Gleichmaß stören – etwa Ebbe und Flut oder die Bewegungen des Magmas im Erdinneren.

Wissenschaftler haben die Rotation der Erde heute sehr genau im Blick und bemerken jede Veränderung, erklärt Stefan Weyers: „Aber als Zeitmesser ist die Erde einfach entsetzlich.“

Deshalb suchten Uhrenbauer schon vor Jahrtausenden nach Alternativen:

Sonnenuhren brachten wenig, weil mit der Sonne gemessene Stunden je nach Jahreszeit unterschiedlich lang sind. Also erfanden die Menschen Wasseruhren, die jede Stunde gleich lang machten, experimentierten auch mit Sand- oder Lichtuhren und schufen dann mechanische Uhren, mit denen es möglich war, den Tag in Stunden zu unterteilen, die Stunde in Minuten und die Minute in Sekunden.

Diese Uhren, die die Zeit erst mithilfe von schwingenden Pendeln und Spiralfedern, später mit Quarzkristallen maßen, gingen genauer, doch nach einer gewissen Dauer immer noch ein bisschen falsch: alte Modelle um eine Sekunde am Tag, moderne Quarzuhren immerhin noch um eine Millisekunde.

Einem Menschen, der nur den Bus nicht verpassen will, kann das gleichgültig sein, einem Physiker aber nicht. Von der Zeit hängt viel ab – die genaue

1“, aber die Männer der PTB nennen sie nur „die Fontäne“. Sie ist ihr ganzer Stolz – eine der besten Uhren der Welt.

So sieht sie aber gar nicht aus.

STEFAN WEYERS ZIEHT die Tür am Ende des Ganges auf, schreitet durch die Schleuse dahinter und schlüpft durch eine weitere schwere Tür.

Der Atomuhrensaal ist weit und hoch und ähnelt einer Sporthalle. Die Wände sind vom Boden bis zur Decke mit rostrottem Kupfer verkleidet, das im Licht der Neonröhren sanft schimmert. Die zu Gruppen zusammengestellten Geräte der Physiker – Regale voller Monitore, Computer, Laser und Oszillographen – wirken in der Weite des Raumes wie kleine Inseln.

In der kühlen, klaren Luft liegt ein saches Sirren – das sind die Lüfter der Computer sowie die Klimaanlage – und ein leichtes Ticken: Das sind Schalter,

Es entsteht keine radioaktive Strahlung in den Cäsium-Uhren

Messung elektrischer Spannungen zum Beispiel oder die Fähigkeit, einen Satelliten durchs Weltall zu steuern.

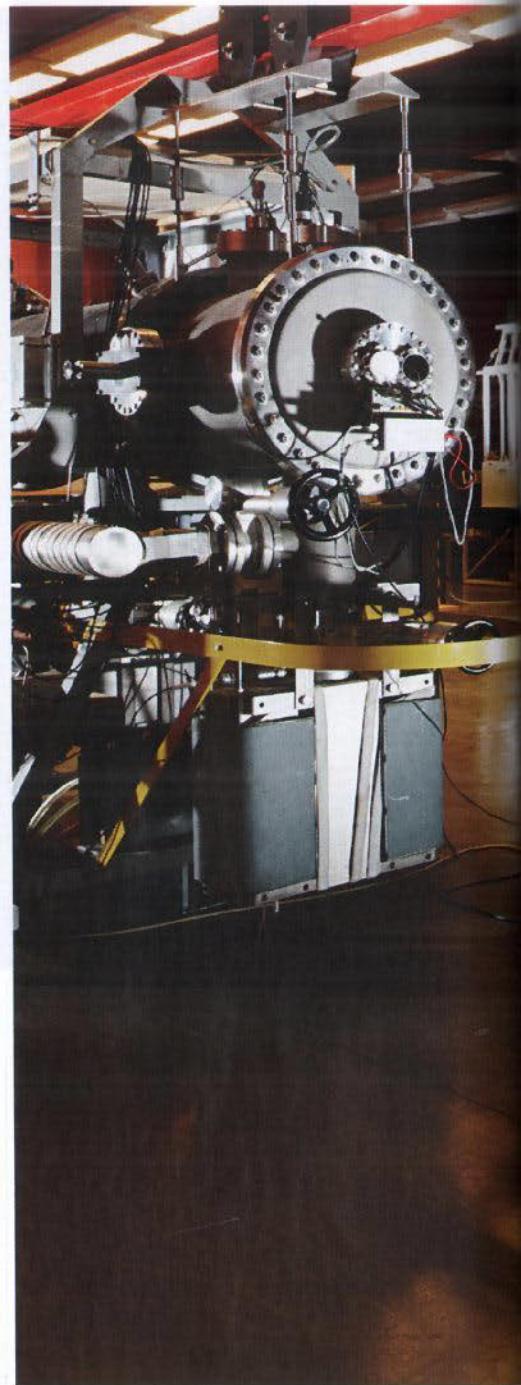
„Für die Synchronisation in der Wirtschaft, für Kommunikation und Navigation ist eine möglichst exakte Zeit heute unersetzlich“, sagt Stefan Weyers. Mit seinen feingliedrigen Fingern fährt er gern auf der Tapete umher, wenn er etwas erklärt – gerade so, als wäre die Wand die kleine Tafel in seinem Büro.

Etwa in der Mitte des Ganges haben die Physiker ein Plakat eingerahmt, auf dem sie die Genauigkeit aller Uhren in einer steigenden Kurve zeigen. Ganz am Ende der Kurve, am äußersten Rand des inzwischen vergilbten Papiers, hat jemand nachträglich einen roten Punkt geklebt. Er zeigt die Genauigkeit ihrer neuesten Atomuhr – jener Erfindung, die erst in 40 Millionen Jahren eine Sekunde falsch gehen wird. Sie heißt „CSF1“. Das steht für „Cäsiumfontäne“.

die in kurzen Abständen die Laserstrahlen für die Uhren unterbrechen.

Die Atomuhren selbst machen kein Geräusch. Sie stehen inmitten der Geräte-Inseln; wie Türme ragen sie heraus. Sie sind zu viert. CS1 und CS2, die alte Generation: jeweils ein hoher Schrank mit ein paar Schaltern und Kabelbuchsen und daneben eine dicke waagerechte Röhre, in der die Cäsium-Atome von einer zur anderen Seite fliegen.

Und hinten rechts im Saal CSF1 und CSF2, die Fontänen, die neue Generation. Bei diesen Modellen steht die dicke Röhre aufrecht. Daneben jeweils ein Tisch, auf dem sich ein Gewirr von Spiegeln und Linsen, Kästchen und Kabeln ausbreitet. Dort werden Laserstrahlen moduliert. Für das menschliche Auge ist das gebündelte Infrarotlicht unsichtbar. Erst wenn man durch ein spezielles Sichtgerät blickt, sieht man grünliche Strahlen, gespenstisch wie Irrlichter,

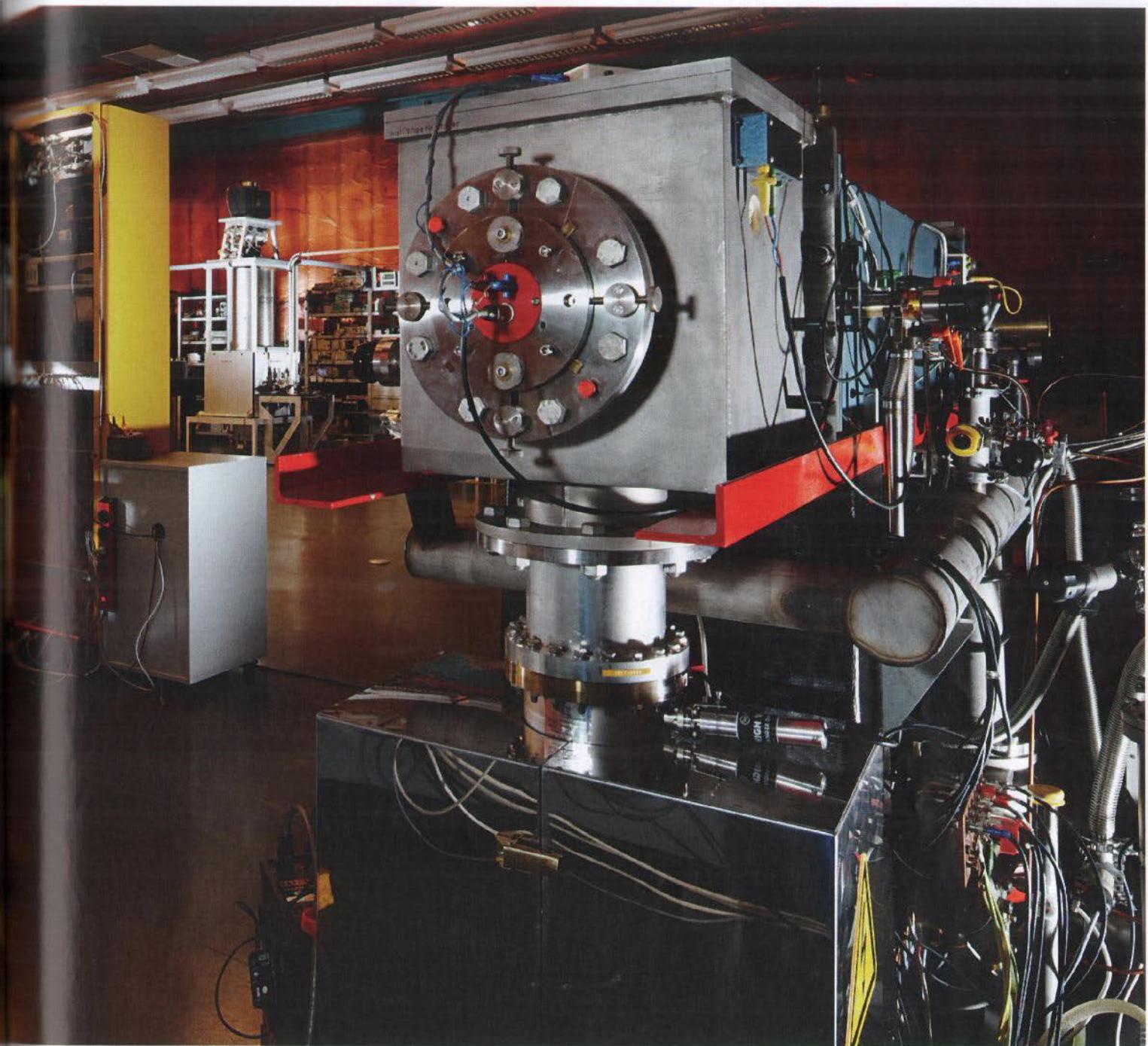


kreuz und quer auf den Tischen umherflimmern, bis sie in der Röhre verschwinden.

Das ist alles. Keine dröhnenden Motoren, keine riesigen Kühlbecken, keine Absperrgitter, keine Lichtblitze.

Stefan Weyers kennt die Enttäuschung. „Die meisten erwarten etwas Spektakuläres“, sagt er. Und doch sind die Apparate hochkomplex, ist alles höchst empfindlich.

Deshalb ruht die Atomuhrenhalle auf einem eigenen, besonders stabilen



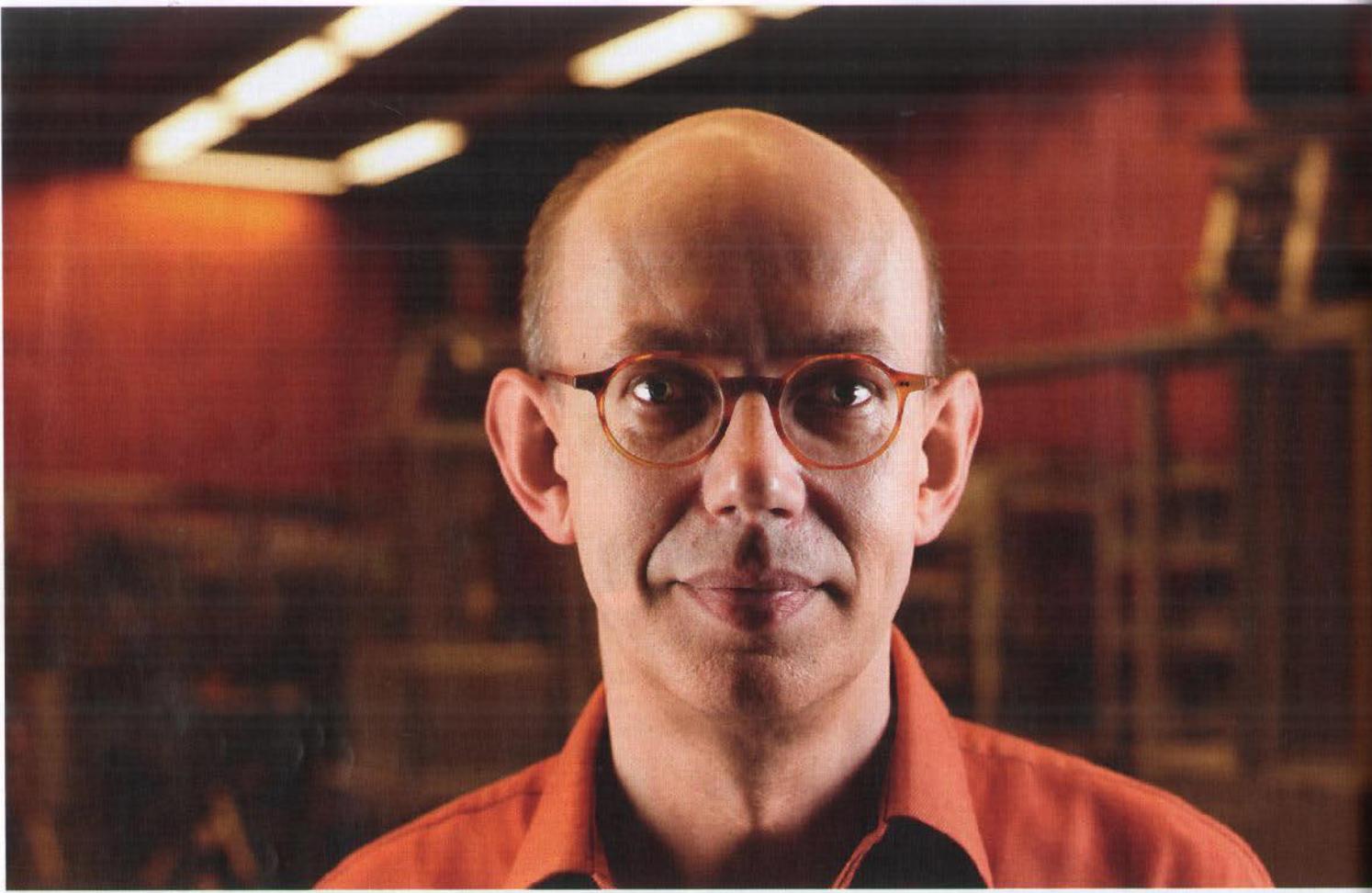
Fundament und verfügt über eine abgesicherte Elektrizitätsversorgung, unabhängig vom Braunschweiger Stromnetz. Deshalb wird die Temperatur ständig überwacht, sind die dicken Röhren der Atomuhren aus Titan und die Wände des Saals mit Kupfer verkleidet – um jeden noch so kleinen Einfluss auf die Atome auszuschließen.

Wenn sie diese Metalltapeten sehen, vermuten viele Besucher, dass die Atomuhren radioaktive Strahlung absondern.

Daher erklärt Stefan Weyers unermüdlich, wieder und wieder: Atomuhren haben mit lebensfeindlicher Strahlung nichts zu tun; Cäsium-133-Atome sind nicht radioaktiv – anders

als ihre nahen Verwandten, die Cäsium-137-Atome, die durch Kernspaltung entstehen. Die aber wird man hier nicht finden.

SEIT FEBRUAR 2010 nehmen Weyers und seine Kollegen die offizielle Zeit von der CSF1 ab. Zuvor lieferte die CS2 jahrzehntelang den Takt der Republik. Aus den Präzisionssekunden der Fontäne machen die Physiker das vielleicht langweiligste, doch wichtigste Radio-programm Europas. Denn in Mainflin-



Dem PTB-Physiker Ekkehard Peik, 48, reicht die Präzision der Braunschweiger Cäsiumfontäne noch nicht: Er arbeitet an einem Verfahren, mit einer »lonenfalle« die Sekunde noch präziser zu bestimmen

gen südöstlich von Frankfurt betreibt die PTB drei weitere Atomuhren, die regelmäßig mit den Angaben der CSF1 verglichen werden. Die Uhrzeit dieser Messgeräte wird in einen binären Code, also in eine Folge von Nullen und Einsen übersetzt. Ein Langwellensender, der „Zeitsignalsender DCF77“, sendet diesen Code anschließend an alle Funkuhren in Deutschland: an Zeitmesser auf Bahnhöfen und Flughäfen, in Radio- und Fernsehstationen, in automatischen Rollläden, Heizungsanlagen, Fabriksteuerungen, Zeitansagen – sowie an jeden einzelnen Funkwecker im Umkreis von 2000 Kilometern.

Bis Tripolis und Stockholm, Kiew und Athen exportiert die Radiofre-

quenz 77,5 kHz die Zeitsignale. Stefan Weyers und seine Kollegen machen sie für Besucher in Braunschweig auch als Töne hörbar: 60 Schläge in der Minute, das ist der Rhythmus, den sie mit CSF1 aus dem Berg der Zeit herausmeißeln.

Mehr als 100 Millionen Empfänger sind auf dieses Signal angewiesen, mindestens ebenso viele empfangen es über das Internet.

Doch das ist nicht alles: In Braunschweig laufen die Messungen von etwa

300 hochpräzisen Uhren aus mehr als 60 Zeitlaboren zusammen, aus Europa, Australien, Asien. Wie eine Spinne hockt die PTB im internationalen Netz der Institute.

Denn mit deren Daten ermittelt das „Internationale Büro für Maß und Gewicht“ in Paris die „Temps Atomique International“ (TAI): die „Internationale Atomzeit“. Die wiederum bildet die Grundlage für die „Coordinated Universal Time“ (UTC), die „Koordinierte Weltzeit“, bei der auch die unstenen Bewegungen der Erde berücksichtigt werden. Dafür fügen die Zeithüter dem Takt gelegentlich „Schaltsekunden“ hinzu. Das bedeutet: Sie halten die Atomzeit für eine Sekunde an und passen sie so der Erdrotation an.

Die in Paris ermittelte UTC wird einmal im Monat verbreitet – und bildet den Puls der Globalisierung, der weltweiten Informations- und Warenströme. Denn alle nationalen Zeitinstitute stellen ihre eigenen Uhren nach diesem Wert.

Die PTB exportiert ihre Zeit nach Kiew, Stockholm und Athen

Wenn beim PTB die CSF1 mal ins Stolpern kommt und gewartet werden muss, springen die anderen drei Braunschweiger Atomuhren ein. Sonst aber dienen sie der Forschung. Denn die Herstellung der akkuraten Qualitätszeit ist nur eine Aufgabe der PTB.

FÜR DIE ANDERE versuchen die Herren der Zeit, der perfekten Sekunde immer näher zu kommen. Dafür hat Ekkehard Peik, ein Kollege von Stefan Weyers, neben den Fontänen große Tische aufgebaut, voll mit seltsamen Apparaten, zwischen denen rote, grüne und blaue Kabel liegen, wie nach einem undurchsichtigen Plan. In der Mitte steht eine Art Waschmaschinentrommel.

„Das ist eine Ionenfalle“, erklärt Peik: „Wir messen Übergänge von Ytterbium-Ionen“ – den flimmernden Wechsel zwischen dem natürlichen Grundzustand des Elements Ytterbium und einem Zustand, den die Wissenschaftler mit der Formel $^2D_{3/2}(F=2)$ beschreiben.

Mit anderen Worten: Ekkehard Peik und seine Arbeitsgruppe „Optische Uhren mit einzelnen Ionen“ testen die Zukunft.

Eine Zukunft, in der die Zeit noch präziser zu fassen ist als ohnehin schon. Denn wenn Weyers Team in der Braunschweiger Zeitfabrik die Fertigung bildet, so ist Peiks Team gewissermaßen die Entwicklungsabteilung.

Früher, in den Atomuhren der Generation CS1 oder CS2, verdampften die PTB-Physiker den Sekundenrohstoff Cäsium unter Vakuum in Atomöfen, jagten ihn an starken Magnetfeldern vorbei

in die dicken Röhren von CS1 oder CS2, schlossen Mikrowellen darauf und fingen die Atome am anderen Ende der Röhre in einem Detektor wieder ein, der die Schwingung der Atome maß – und das alles nur, um eine Sekunde auf

mehr als ein Dutzend Stellen nach dem Komma genau bestimmen zu können.

Bei den Fontänen, also der CSF1-Generation, kühlen die Forscher das Cäsium dagegen fast bis auf den absoluten Nullpunkt herunter, sodass die Atome langsam und träge werden und mit Lasern leicht angeschubst werden können: hinein in die aufrechte Röhre von CSF1. Dort spritzen sie nach oben und fallen dann wegen der Schwerkraft wieder nach unten – wie Wasser in einem Springbrunnen. Wenn man sie dabei mit Mikrowellen beobachtet, kann man an ihrer Schwingung die Sekunden abzählen.

Weyers genügt diese Messmethode einstweilen. Peik und seinen Kollegen

„Da, der helle Lichtfleck. Das ist das Ion.“ Es ist den Uhrmachern der PTB in die Falle gegangen. Ein Ytterbium-Ion, ein einzelnes elektrisch geladenes Atom. „Das hat mich schon als Student umgehauen.“ Manchmal, sagt Peik, halte er ein Ion tagelang in einem elektrischen Feld gefangen und beobachte es.

Um so ein einzelnes Ion wollen die Zeitforscher die Uhren der Zukunft bauen. Denn die Ytterbium-Atome schwingen 100000-mal schneller als die Cäsium-Atome – und bieten so einen noch weitaus feineren Maßstab: Rund 688 Billionen Schwingungen entsprechen einer Sekunde.

Einige Dutzend Physiker versuchen derzeit weltweit, ähnliche Zeitmesser mit Atomfallen zu entwickeln. Die einen fangen Strontium-Atome, andere Aluminium- oder Quecksilber-Ionen. „Welches Element am Ende das Rennen macht, wissen wir noch nicht“, sagt Peik. Sicher scheint: Irrend wann wird das Cäsium seinen Rang als Sekundengeber abtreten müssen.

Doch eigentlich hat Peik noch etwas Besseres im Sinn. Seit acht Jahren lässt ihn diese Idee nicht mehr los: Eines Tages, so hofft er, werde man die Zeit im Innersten der Materie messen – im Atomkern selbst.

Dann wäre es vielleicht möglich, eine nahezu ideale Uhr zu bauen. Unter dem Schutz der Elektronen, die in jedem Atom eine Art Bollwerk um den Kern formen, wäre die Zeit am besten gewappnet gegen ihren ärgsten Feind: die Störung. Denn Stefan

Weyers, Ekkehard Peik und all die anderen Physiker der PTB sind ja vor allem eines: Wächter.

Sie bewachen unsere Zeit, damit sie nicht aus dem Takt gerät – und die Welt ins zeitlose Chaos stürzt. □

Memo: ATOMUHREN

► **Atome schwingen** viele Milliarden Mal pro Sekunde – ein Cäsium-133-Atom beispielsweise 9192631770-mal –, und das derart präzise, dass Physiker sie nutzen, um Uhren zu bauen, die diese Schwingungen zu einer ungeheuer genauen Zeitmessung nutzen.

► **In der Physikalisch-Technischen Bundesanstalt** (PTB) in Braunschweig haben Wissenschaftler eine Uhr gebaut, die „Cäsiumfontäne“, die in rund 40 Millionen Jahren nur um eine Sekunde falsch geht.

► **Von der PTB** aus wird das Zeitsignal per Langwellensender an alle Empfänger im Umkreis von 2000 Kilometern übermittelt. Zudem laufen in der Bundesanstalt Daten von etwa 300 hochpräzisen Uhren aus mehr als 60 Zeitlaboren zusammen, die dann an das „Internationale Büro für Maß und Gewicht“ in Paris gesendet werden. Dort entsteht schließlich die „Koordinierte Weltzeit“ (UTC).

► **Derzeit arbeiten** die Physiker der PTB an einer noch genaueren Uhr mit einer „Ionenfalle“. Denn Ytterbium-Atome schwingen 100000-mal schneller als die Cäsium-Atome – und bieten so einen noch weitaus feineren Maßstab: Rund 688 Billionen Schwingungen entsprechen einer Sekunde.

aber ist sie nicht gut genug. Denn es geht noch besser. Der 48-Jährige deutet auf ein Bild, das er neben der Ionenfalle aufgehängt hat. Es zeigt viele farbige Flecken, unregelmäßig und fransig, wie leuchtende Amöben in tiefschwarzer Nacht.

PHYSIK: Der Rhythmus des Universums



Das regelmäßige stellare Signal

Rasch rotierende Neutronensterne sind sehr exakte Taktgeber

Ein Neutronenstern (oben der Krebsnebel) ist der Rest einer ausgebrannten Sonne, die am Ende ihrer Existenz zu einem extrem dichten Gebilde zusammengestürzt ist. Der Drehimpuls – ein Maß für den Schwung, mit dem sich der Himmelskörper zuvor gedreht hat – konzentriert sich nun auf das winzige Überbleibsel und lässt es rasend schnell rotieren. Zu erkennen ist dies an seiner Strahlung, die wie der Lichtkegel eines Leuchtturms durchs All blinkt. So offenbart sich die schnelle Rotation des Sterns auf der Erde als periodisches Aufblitzen von Radiostrahlen. Seit 2007 gilt als die vermutlich schnellste stellare Rotation ein Neutronenstern, der sich pro Sekunde 1122-mal um sich selbst dreht. ■

STOPPUHR IM ALL

Am 21. Juli 1969 betrat Neil Armstrong als erster Mensch einen fremden Himmelskörper, den Mond. Da in der Landefähre ein Chronometer ausgefallen war, musste der Kommandant der Apollo-11-Mission seine Armbanduhr in dem Gefährt zurücklassen. So kam es, dass nicht er, sondern einige Minuten später Armstrongs Kollege Edwin Aldrin seine Omega Speedmaster Professional als ersten Zeitmesser auf den Trabanten brachte – ein mechanisches Fabrikat, das



seit 1957 produziert wurde und das alle Astronauten benutzten. Das Modell hatte eine Stoppuhrfunktion, war per Hand aufzuziehen – und bis in 30 Meter Tiefe wasserfest. ■

Die Verlangsamung der Zeit

Fossile Korallen verraten, dass sich die Erde früher schneller drehte und die Tage kürzer waren

Alle 24 Stunden ungefähr dreht sich die Erde einmal um sich selbst und gibt so den Rhythmus vieler Lebewesen vor. Korallen etwa sondern täglich etwas Kalk ab – also 365 Schichten pro Jahr. Da die Ablagerungen sich aufgrund der abweichenden Temperaturen im Sommer und im Winter unterscheiden, lässt sich ein Jahreszyklus erkennen. Auch bei 400 Millionen Jahre alten fossilen Korallen fanden Forscher solche Zyklen – allerdings mit 400 Schichten. Ein Jahr hatte damals also 400 statt 365 Tage; die Erde drehte sich schneller. ■



Mit dem Urknall kam die Zeit in die Welt. Seither entstehen, kreisen und vergehen die Gestirne in gigantischen Zyklen – vermutlich bis in alle Ewigkeit



Das Schicksal des Kosmos

Unser Universum dehnt sich mit immer größerer Geschwindigkeit aus

In den 1920er Jahren erkannte der US-Astronom Edwin Hubble als Erster, dass sich unser Universum ausdehnt: Am Licht von Galaxien (oben der planetarische Nebel NGC 2371) ermittelte er, dass sich die Sterneninseln umso schneller von uns entfernen, je größer ihr Abstand zur Erde ist. 1998 stellten Wissenschaftler fest, dass die Ausdehnungsgeschwindigkeit des Universums sogar zunimmt – weshalb, ist den Forschern noch ein Rätsel. Sie vermuten, dass eine mysteriöse „dunkle Energie“ für die immer schnellere Expansion sorgt. Gegenwärtige Modelle der Kosmologen sagen voraus, dass sich die Ausdehnung weiter beschleunigen und ewig andauern wird. Das Weltall wird immer leerer werden, weil sich Materie und Energie auf immer größer werdenden Raum verteilen. ■

299 772 455,301867842

Meter pro Sekunde beträgt die höchste von Menschen je erzeugte Geschwindigkeit.

Auf dieses Tempo – das **99,999991 Prozent der Lichtgeschwindigkeit** entspricht – brachten Forscher Elektronen in einem Teilchenbeschleuniger des CERN bei Genf. ■

DER SCHNELLSTE PLANET

Der Merkur ist mit einem Durchmesser von 4879 Kilometern der kleinste Planet in unserem

Sonnensystem. Er umkreist das Zentralgestirn in einem durchschnittlichen Abstand von 58 Millionen Kilometern, ist damit der ihm nächste Himmelskörper – und der schnellste: Er umrundet die Sonne mit einer Geschwindigkeit von rund 172 300 km/h und benötigt dazu lediglich 88 Tage. ■



Die Sekunde null

Die Zeit selbst gibt es erst seit dem Urknall

Die Energie all dessen, was heute im Universum etwa in Form von Masse und Licht existiert, war schon im Moment des Urknalls vorhanden. Sie war dabei in einem unvorstellbar winzigen, enorm dichten und heißen Punkt zusammengepresst. Raum und Zeit hingegen – die vier uns heute bekannten Dimensionen, drei

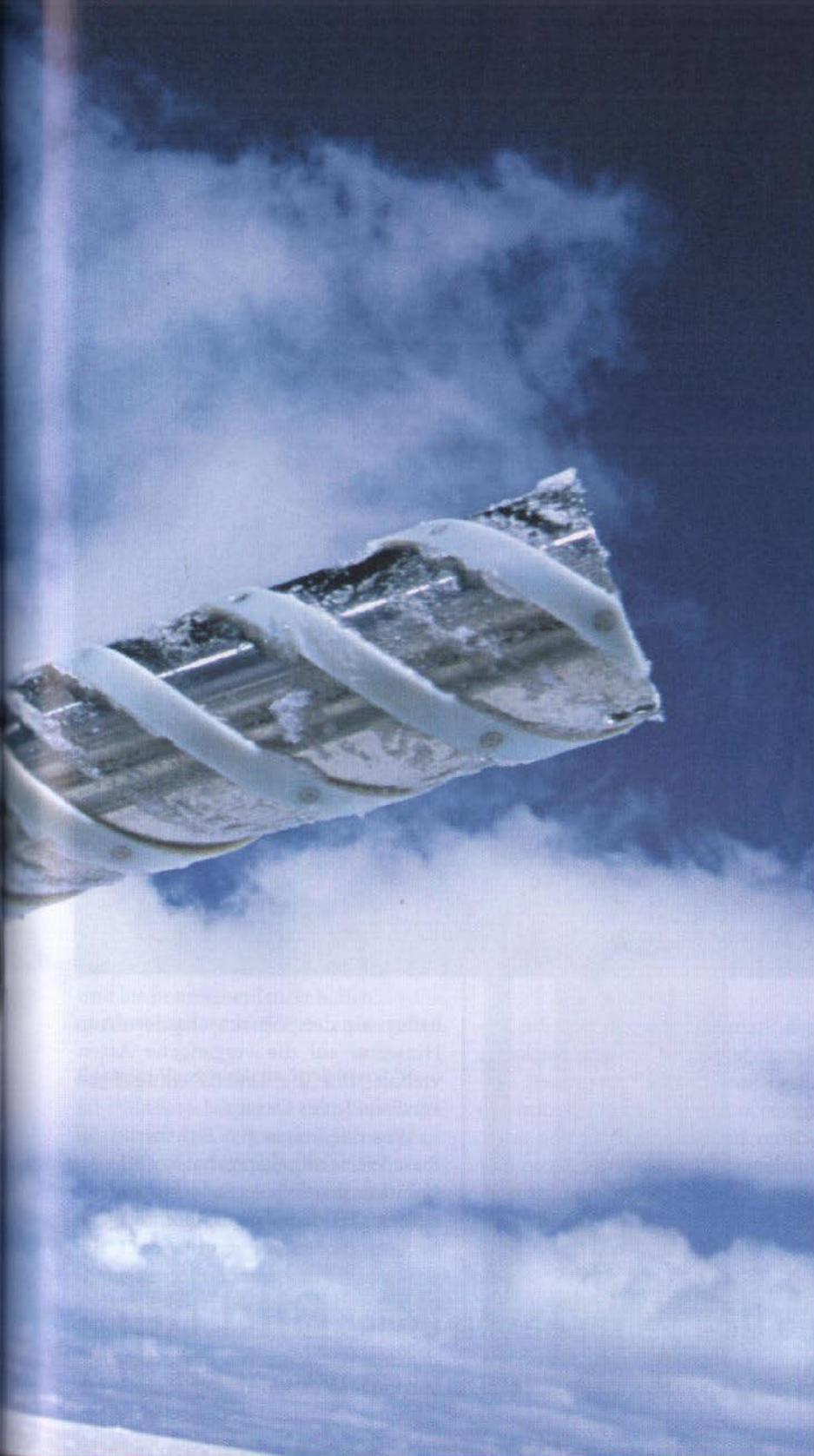
räumliche und eine zeitliche – entstanden erst mit dem Urknall. Die häufig gestellte Frage „Was war vor dem Urknall?“ kann nach dieser Theorie eindeutig mit „nichts“ beantwortet werden, da bis dahin weder Raum noch Zeit existierten. Es kann also gar kein „Vorher“ gegeben haben. ■

WENN DIE GESCHICHTE GEFRIERT

Beständig speichert die Erde ihre Historie. Spuren der Vergangenheit haben sich im Gletschereis erhalten, im Ozeanboden, in Felsen und Muscheln. Mit hochmodernen Apparaturen entschlüsseln For- scher die Botschaften dieser Zeitarchive – und lesen sie wie eine Jahrmillionen alte Chronik



Aus den mächtigen Eispanzern von Gletschern (hier in Peru) bergen Glaziologen beindicke Bohrkerne. Die enthalten Informationen über Temperaturen, Winde und die Atmosphäre vergangener Epochen. So lässt sich die wechselhafte Klimgeschichte nachzeichnen



Text: Sebastian Witte

E

Es ist eine der kühnsten Zeitreisen, zu der die Wissenschaft je aufgebrochen ist: Seit 2006 stoßen mehr als 200 Forscher aus vier Nationen tief in den Meeresboden vor der Antarktisküste vor.

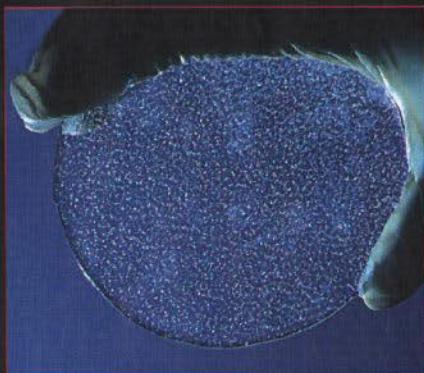
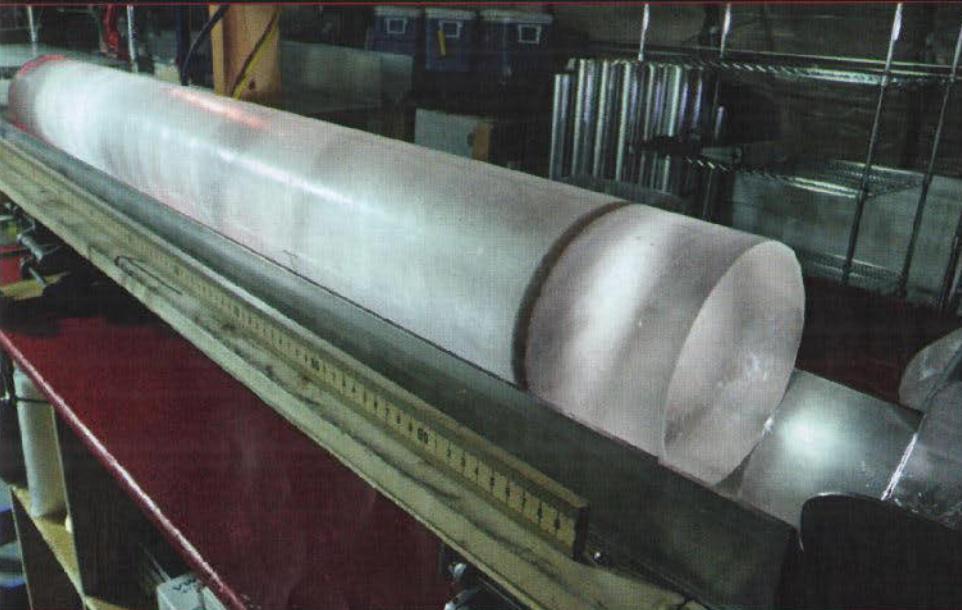
Ihre Zeitmaschine, einen Spezialbohrer, haben die Wissenschaftler auf einer schwimmenden Eisplatte installiert, die mit dem westantarktischen Festland verbunden ist. Durch ein Loch im Eis lassen sie den Bohrkopf 400 Meter hinab durch das Ozeanwasser bis auf den Grund. Von dort fräst er sich in die Kruste der Erde, bis zu 1100 Meter tief.

Was das Gerät da bohrt, ist ein Tunnel in die Vergangenheit. Denn je tiefer es kommt, desto älter sind die Sedimente, die sich hier einst Schicht für Schicht gebildet haben. Die setzen sich größtenteils aus feinen Körnern – etwa Sand oder Ton – zusammen, die auf dem Festland durch Verwitterung entstanden sind. Mit dem Wind, den Flüssen oder Gletschern gelangten diese Körner ins Meer und schlugen sich auf dem Boden nieder. Im Laufe der Zeit bedeckten immer neue Schichten die frisch abgelagerten Sedimente; unter dem zunehmenden Druck erhärteten sie und wandelten sich in festes Gestein um.

Die Lagen vor der antarktischen Küste sind bis zu 20 Millionen Jahre alt. In ihnen haben einzigartige Informationen über die Klimavergangenheit der

Eisbohrkerne

Gletschereis enthält wertvolle Botschaften über die Klimageschichte unseres Planeten. Denn die Eisanzäuber haben sich ganz allmählich – Schicht um Schicht – aus Schnee gebildet und bergen uralte Stäube, Vulkanasche, fossile Mikroalgen und winzige Luftbläschen, gefüllt mit der Atmosphäre von damals. In polnischen Gebieten türmen sich die Eisanzäuber derart hoch, dass Glaziologen manchmal kilometerlange Eisbohrkerne zutage fördern. Deren tiefste Lagen sind mehr als 900 000 Jahre alt und enthalten mitunter 40 Zentimeter mächtige Kristalle.



Der Staub eines Vulkan, der vor rund 21000 Jahren ausbrach, hat sich als dunkle Schicht im Eis erhalten

Atmosphäre im Eis: Die uralte Luft in den Blaschen bezeugt die damalige Menge an Treibhausgasen

Bei minus 25 Grad untersucht ein Klimatologe am Alfred-Wegener-Institut in Bremerhaven antarktisches Eis

Tausende Eisbohrkerne aus 86 Bohrlöchern lagern im National Ice Core Laboratory in Lakewood, Colorado

unwirtlichen Region und die Historie der dort lebenden Organismen überdauert. So gibt etwa die Größe der abgelagerten Bruchstücke Aufschluss über die sich stetig wandelnde Dicke des antarktischen Eisanzäubers: Finden die Forscher in einer Zone, die beispielsweise vor acht Millionen Jahren entstanden ist, eher gröbere Trümmer, so müssen sich die Gletscher zu dieser Zeit massiv ausgedehnt haben – andernfalls hätten sie das schroffe Material nicht mitführen und in den Ozean verfrachten können. Ist ein Abschnitt hingegen frei von

derben Steinen, befanden sich die Eidecken zu jener Zeit auf dem Rückzug, war das Klima also weitaus milder.

Immer wieder haben die Sedimentschichten bei ihrer Entstehung auch Kleinstlebewesen wie etwa Algen eingeschlossen – oder bestehen ganz und gar aus ihnen. Als fossile Überbleibsel

liefern sie den Wissenschaftlern nun Hinweise auf die vergangene Artenvielfalt und die Lebensbedingungen am Grunde des Ozeans.

Was die steinernen Bohrkerne auf diese Weise offenbaren, hat das Bild der Antarktis deutlich verändert. Vor allem ein etwa 90 Meter langer Abschnitt, den

Die Bohrkerne haben unser Bild der Antarktis dramatisch verändert

die Wissenschaftler 2006 borgen, erregt Klimatologen überall auf der Welt.

Das Segment hat sich vor vier Millionen Jahren gebildet und sieht völlig anders aus als die anderen Teilstücke...

WER ZEITARCHIVE wie die polaren Sedimentkerne zu entziffern weiß, der sieht die Biografie unseres Planeten offen vor sich liegen. Überall fahnden die Forscher nach solchen Fenstern in die Vergangenheit, durch die sie in längst verstrichene Epochen blicken und so den Werdegang der Erde immer präziser entschlüsseln können.

Die Reisen in die Vorzeit offenbaren, wie sich die Kontinente, das Klima und das Leben einst entwickelt haben. Zugleich eröffnen sie auch einen Blick in die Zukunft: Denn nur wer begreift, wie sich Ozeane, Landmassen und die Atmosphäre in früheren Zeiten verhalten haben, kann Prognosen über ihr weiteres Zusammenspiel aufstellen.

Wer etwa die gegenwärtige Erderwärmung verstehen will, muss zunächst die Klimageschichte studieren – erst dann lässt sich der Anstieg der Temperaturen überhaupt interpretieren.

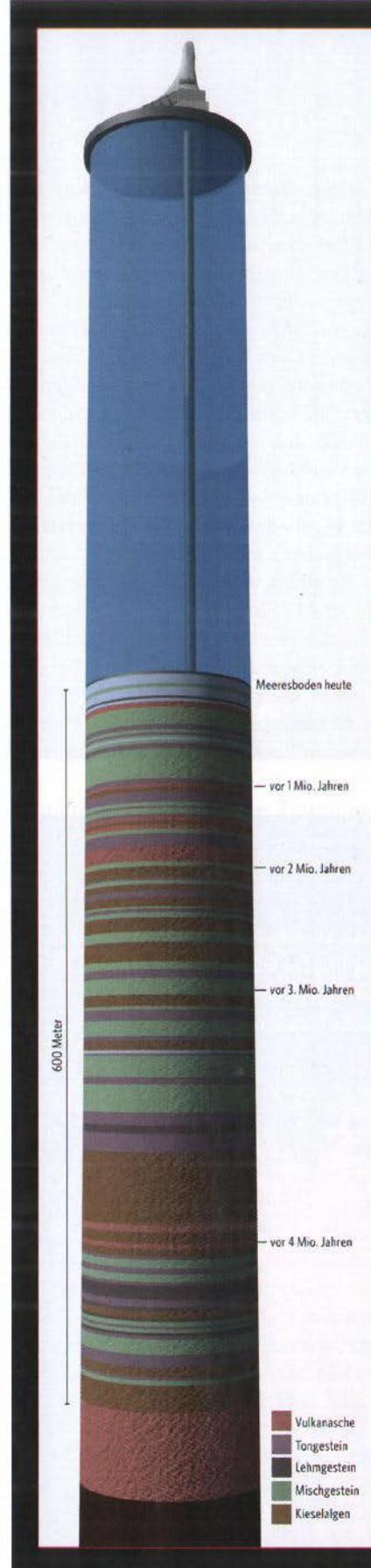
Und so werden die Forscher nicht müde, Messdaten und Hinweise selbst aus den entlegensten Winkeln der Welt zusammenzutragen. Sie finden sie nicht nur im Meeresboden, sondern auch in Muschelschalen, im Holz uralter Bäume, im Eis von Gletschern, in Sedimenten und Versteinerungen, den Querschnitten von Korallen oder Tropfsteinen – ja sogar in winzigen Staubteilchen, die vor Jahrtausenden durch die Lüfte wehten und bis heute überdauert haben.

Als weigere sich die Zeit, zu vergehen.

Gestein: Verräterische Schichten

Jahrhundertelang war den Gelehrten der Blick in die Vergangenheit versperrt gewesen: Sie konnten sich nicht vorstellen, dass die Erde eine bewegte Geschichte hat, die es zu erschließen gilt. Das Antlitz des Planeten erschien ihnen zeitlos und unveränderlich.

Erst in der zweiten Hälfte des 18. Jahrhunderts benannte der schottische Naturforscher James Hutton erstmals die Kluft zwischen menschlicher und



Meeresboden

Seit 2006 treiben rund 200 Wissenschaftler aus vier Nationen einen Spezialbohrer in die Erdkruste vor der südwestantarktischen Küste. 400 Meter unterhalb des Eisschildes fräst das Gerät einen Tunnel in die Erdkruste. Die Aufeinanderfolge der marinen Sedimentschichten gibt den Forschern Aufschluss über die Klimageschichte der Antarktis. Die Forscher sind bereits in eine Tiefe von mehr als 1100 Metern vorgedrungen und haben damit Ablagerungen erreicht, die rund 20 Millionen Jahre alt sind.



Bohrstangen nahe dem 20 Meter hohen Turm, von dem aus die Forscher das Loch in den Boden treiben



Aus winzigen Veränderungen in den Sedimentschichten lesen Forscher, wie sich das antarktische Klima über Jahrtausende gewandelt hat

Mit jedem Meter stößt der Bohrkopf in immer ältere Sedimente vor. Jede Schicht besteht aus anderen Materialien – etwa uralter Vulkanasche, Ton-, Lehm- oder Mischgestein. Finden die Forscher besonders viele Kieselalgen, schließen sie, dass zu jener Zeit das Meer eisfrei war: Nur dann können die Mikroorganismen gedeihen (siehe Grafik links).

Die natürlichen Archive zeigen: Jede Epoche bringt eigene Arten hervor

geologischer Zeitskala und stellte eine der verwegsten Behauptungen der Wissenschaftsgeschichte auf: dass die Erde in Wahrheit unermesslich alt sei.

Viele bezweifelten Huttons These. Schließlich erlebten sie die Zeit – wie auch wir heute – als Abfolge flüchtiger Augenblicke. Dass sie sich zu mehr als ein paar Jahrtausenden zusammenballen und Spuren in Gesteinen hinterlassen konnte, blieb ihnen unbegreiflich.

Doch Hutton war sich sicher: Die Erde hat eine Geschichte – jenseits von Schöpfung und Sintflut. Nicht Wunder oder einzelne Katastrophen haben dem Planeten seine Gestalt gegeben, sondern die Kräfte von Wind und Regen, Gezeiten und Wellen, Vulkanen und Erdbeben, die noch immer auf ihn einwirken.

Nur war dafür sehr viel Zeit nötig gewesen.

Da es Hutton zunächst nicht gelang, Anhänger für seine Behauptungen zu finden, betrieb er über Jahre gezielte Feldforschung, um einen Beleg dafür zu finden, dass die Landmassen der Erde einem fortwährenden Kreislauf unterliegen: Gesteine verwittern, werden fortgetragen und als Sediment abgelagert; sie verfestigen sich unter hohem Druck, sinken in immer größere Tiefen und werden – etwa durch die Hitze im Erdinneren – oft wieder an die Erdoberfläche gehoben, wo sie der Verwitterung von Neuem ausgesetzt sind.

An einem sonnigen Juni-Nachmittag im Jahr 1788 entdeckte Hutton an der schottischen Südostküste, wonach er so akribisch gesucht hatte: eine Felsformation, die genau solch einen Zyklus durchlaufen haben musste, die also – so seine These – nur durch stetig arbei-

tende geologische Prozesse hatte entstehen können.

Im unteren Teil der Wand war dunkler Schiefer zu sehen, aber die Schichten lagen nicht horizontal, sondern vertikal: wie eine Reihe Bücher auf einem Regal.

Darüber lagerten einige Meter ungeordnete Gesteinstrümmer, gefolgt von mehreren Schichten rötlichen Sandsteins. Nach Huttons Überlegung war der jetzt vertikale Schiefer einst in Form von erodierten Sandkörnern ins Meer transportiert worden und hatte sich in horizontalen Schichten abgesetzt.

Da dieser Prozess nur äußerst langsam abläuft, hatte es viele Hunderttausend Jahre gedauert, bis sich genügend Sediment aufgebaut und so viel Druck auf die unteren Schichten ausgeübt hatte, dass sie sich in Gestein verwandelten.

Dann hatten Kräfte aus dem Erdinneren bewirkt, dass die einst horizontalen Lagen sich zu Wellen aufrichteten und allmählich über den Meeresspiegel erhoben. Irgendwann aber, so meinte Hutton, muss der gefaltete Schiefer wieder von Wasser bedeckt worden sein. So konnten sich neue Sedimente anhäufen – diesmal aus rötlich gefärbten Sandkörnchen. Letztendlich war das Gebiet ein weiteres Mal über den Meeresspiegel gehievt worden, allerdings weniger gewaltsam, denn es hatten sich keine neuen Falten gebildet.

Hier also war endlich der Beweis, dass die Erde älter war als 6000 Jahre, dass sie vielmehr schier endlose Phasen der Zerstörung und des Wiederaufbaus durchlebt haben musste.

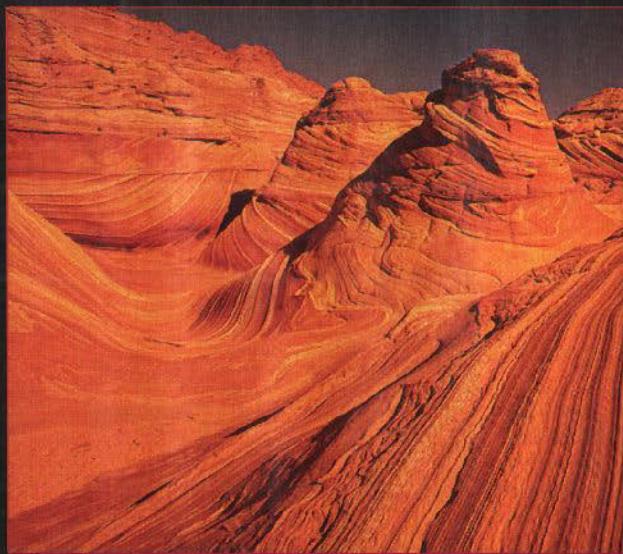
Doch es dauerte Jahrzehnte, bis sich dieses Bild der Erde durchsetzte – und Forscher verschiedenster Disziplinen in geologischen Formationen wie etwa den küstennahen Abbruchkanten vor allem eines erkannten: Zeugen der Zeit.

Damals wie heute liegen die Spuren der Vergangenheit oft im Verborgenen und müssen – wie die Buchstaben einer fremden Schrift – entschlüsselt werden, bevor sie ihre Geheimnisse preisgeben.

Aus welcher erdgeschichtlichen Epoche ein Abschnitt stammt, können die Forscher oft anhand eingeschlossener Fossilien ermitteln: versteinerter Überreste von Tieren und Pflanzen.

Gesteine

Gesteine bilden die ältesten Naturarchive der Erde: Manche Felsen sind bereits in der Anfangszeit des Planeten – vor rund vier Milliarden Jahren – entstanden. In den Gesteinslagen sind oft Relikte archaischer Organismen eingeschlossen, die es Forschern ermöglichen, die Evolutionsgeschichte zu rekonstruieren



Deutlich zeigen diese Felsen in Arizona Sedimentlagen, die sich im Laufe von mehreren Hundert Millionen Jahren bildeten, unter Druck zu Stein verbukten und durch geologische Kräfte angehoben wurden

Denn viele Spezies lebten nicht allzu lange auf unserem Planeten. Vielmehr hat jede Epoche – auch das haben die geologischen Archive offenbart – typische Arten hervorgebracht.

So dominierten in einer relativ jungen Periode die Säugetiere, davor über lange Zeit die Dinosaurier und noch früher Amphibien. In noch älterer Zeit hingegen existierte gar kein Leben auf den Kontinenten, sondern nur im Meer, und davor gab es lange Stadien, in denen lediglich primitive Einzeller wie Bakterien die Erde bevölkerten.

Etliche Relikte archaischer Organismen sind daher charakteristisch für eine bestimmte Zeit – und damit auch für eine bestimmte Zone im Gestein. Da die oben liegende Schicht in der Regel jünger ist als die darunterliegende, erlauben sie zugleich eine chronologische Gliederung der Erdgeschichte.

Wann genau aber eine Periode begann und wie lange sie andauerte, können Forscher allein mit den Methoden der Physik bestimmen. Sie haben herausgefunden, dass chemische Elemente in Varianten vorkommen und dass manche von ihnen im Laufe der Zeit in ein anderes Element zerfallen und dabei radioaktive Strahlung abgeben.

Das im Gestein enthaltene Element Kalium-40 etwa zerfällt äußerst langsam, aber unentwegt in das Edelgas Argon-40: Das feste, im Gestein gebundene radioaktive Metall verwandelt sich also zu etwas Flüchtigem. Dabei verringert es seine Menge innerhalb von 1,3 Milliarden Jahren um exakt 50 Prozent. Dieser Prozess geschieht derart gleichmäßig, dass er sich als Uhr verwenden lässt.

Jedes Mal, wenn neues Gestein entsteht – etwa weil es nach der Schmelze erstarrt –, kann das flüchtige Zerfallsprodukt nicht einfach mehr entweichen, sondern sammelt sich nach und nach an. Es ist, als würde man eine Stoppuhr auf null setzen: Je mehr Gas sich angereichert hat, desto mehr Zeit ist seit der Bildung des Gesteins verstrichen.

Die Forscher müssen also lediglich ermitteln, wie viel des Ausgangsstoffs Kalium und wie viel Argon-40 ein Stein enthält, um auf sein Alter schließen zu

Tropfsteinhöhlen

Tropfsteine entstehen, wenn Wasser im Boden Kohlendioxid aufnimmt, Kalkstein löst und in eine Höhle tropft. In warmen, feuchten Jahren wachsen die kalkigen Gebilde schneller heran als in kalten und trockenen Zeiten. Daher bilden sich unterschiedlich dicke Wachstumszonen, aus denen Forscher auf vergangenes Klima schließen können



Tropfsteinreiche

Kalksteinhöhlen, hier im US-Bundesstaat Colorado, sind regionale Wetterbibliotheken: An der Struktur der Gebilde lässt sich etwa ablesen, wie viel Regen in früheren Epochen niederging

können. So vermögen sie Zeiträume zwischen 50 000 und 4,5 Milliarden Jahren zu datieren.

Auch andere Elemente – etwa Uran-238, Rubidium-87 und Kohlenstoff-14 – lassen sich auf ähnliche Weise als radioaktive Uhren nutzen. Mit ihrer Hilfe ist es Wissenschaftlern gelungen, bis in die Anfangsphase unseres Planeten vorzudringen, der vor rund 4,5 Milliarden Jahren entstand. Mindestens 3,8 Milliarden, wahrscheinlich sogar 4,3 Milliarden Jahre alt sind die ältesten bislang bekannten Steine.

Muscheln: Spuren im Skelett

Nicht so tief, dafür aber relativ detailliert können Wissenschaftler mithilfe von Muscheln in die Vergangenheit schauen: In deren Schalen lässt sich lesen wie in einem taggenauen Kalender. Denn während die Weichtiere ihre äußere Hülle aufbauen, hinterlassen sie einmal im Jahr – etwa wenn das Wachstum während der Fortpflanzungsphase zum Erliegen kommt – eine charakteristische Linie. Spezies, die in der Gezeitenzone leben, bilden sogar jeden Tag zwei Kon-

turen. Denn nur unter Wasser, also bei Flut, wächst ihr Kalkskelett.

Auch wechselhafte Nahrungsbedingungen, Verschmutzungen und Temperaturschwankungen wirken sich auf das Muschelwachstum aus und beeinflussen die Zusammensetzung des Baumaterials. Mithilfe hochmoderner Analyseverfahren können Forscher daher feststellen, wie salzig, sauerstoff- und kohlendioxidreich, warm oder kalt das Meerwasser an einem bestimmten Tag im Leben eines Individuums war.

Finden die Forscher Schalen, die nahe beieinander, aber zu verschiedenen Zeiten gelebt haben, können sie die spezifischen Linien vergleichen und feststellen, ob sich die Lebensspannen der Tiere überlappen. So erhalten sie Skalen, die weit zurückreichen.

Auf diese Weise ist es Wissenschaftlern der Universität Mainz kürzlich gelungen, eine Klimachronologie des Nordatlantiks über die letzten 500 Jahre zu erstellen. Dabei konnten sie nachweisen, dass sich die Nordsee in den vergangenen 100 Jahren durchschnittlich um ein Grad Celsius erwärmt hat.

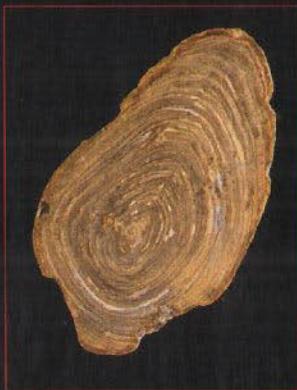
Jahresringe

Klimaschwankungen wirken sich auf Bäume einer Art gleichermaßen aus, sie bilden in bestimmten Regionen ähnliche Jahresringmuster. Das nutzen Wissenschaftler: Sie vergleichen die Stammquerschnitte verschiedener alter (teils fossiler) Bäume miteinander und vermögen Klimabibliotheken zu erstellen, die Tausende Jahre zurückreichen



Anhand von Jahresringen können Baumforscher, hier an der Universität Arizona, nicht nur auf vergangenes Klima schließen, sondern auch auf Insektenplagen oder Feuersbrünste

Selbst in fossilem Holz wie diesem 75 Millionen Jahre alten Stamm zeigen Wachstumsringe, wie das urzeitliche Klima von Jahr zu Jahr schwankte



Bäume: Ring für Ring

Gut 12 000 Jahre reicht ein Archiv zurück, das die Jahresringe von Bäumen nutzt. Die charakteristischen Linien entstehen, weil die Pflanzen auf Wärme oder Kälte mit feinsten Abweichungen im Wachstum reagieren. Im Frühling, bei guter Wasserversorgung und milden Temperaturen, wachsen ihre Stämme in unseren Breiten besonders schnell, es entsteht helles, großporiges, weiches Holz. Später im Jahr dagegen, bei schlechterer Wasserzufuhr und kälterem Wetter wachsen die Bäume nur langsam. Das Holz ist dunkler, kleinporiger, fester und als Streifen zu erkennen, der den Übergang von einer Wachstumsphase zur nächsten charakterisiert.

Je besser die klimatischen Bedingungen sind, desto größer ist der Holzzuwachs etwa bei einer Fichte und damit die Breite eines Jahresrings, die Wissenschaftler unter einer Lupe exakt messen können. Da sich Klimaschwankungen nicht nur auf einen einzelnen Baum auswirken, sondern auch auf dessen Nachbarn, bilden alle Bäume der gleichen Art in einer Region ein cha-

rakteristisches Jahrringmuster. Durch die Kombination verschiedener alter, oft fossiler Stämme lassen sich so regionale Klimabibliotheken erstellen, die viele Tausend Jahre zurückreichen – bis zum Ende der letzten Eiszeit.

Gletscher: die gefrorene Zeit

Noch weiter in die Vergangenheit führen kilometerlange Bohrkerne, die Glaziologen aus den Eispanzern polnäher Gebiete bergen, etwa in Grönland. Sie sind in ihren tiefsten Schichten mehr als 900 000 Jahre alt und enthalten Eiskristalle von bis zu 40 Zentimeter Größe. Aus ihnen lassen sich die Klimaverhältnisse jener Zeit herauslesen, denn die frostigen Schilde haben sich Lage um Lage aus Schnee gebildet und dabei wertvolle Botschaften von einst eingeschlossen – Informationen, die Wissenschaftler mit aufwendigen Laboruntersuchungen dechiffrieren.

Das wichtigste Analyseverfahren macht sich zunutze, dass Wassermoleküle aus verschiedenen schweren Wasserstoff- und Sauerstoffatomen (sogenannte Isotopen) zusammengesetzt sein

können. In kalten Zeiten birgt frischer Schnee in den Polarregionen besonders viele leichte Atome; ist es hingegen milder, überwiegen die schweren.

In den Eiskristallen eingeschlossene Staubpartikel lassen zudem auf die früheren Windverhältnisse schließen. Enthält eine Schicht gröbere Körnchen, müssen zur Zeit der Eisbildung kräftigere Winde geweht haben: Nur sie können schwere Teilchen transportieren. Selbst die Herkunft des Staues vermögen Forscher auszumachen – und damit die vorherrschende Windrichtung.

Und schließlich bewahren die eisigen Kerne die einstige Atmosphäre in Form feiner Bläschen auf. Deren Zusammensetzung analysieren die Wissenschaftler und erhalten so Hinweise über vergangene Treibhausgas-Emissionen und die Beschaffenheit der damaligen Luft.

Das Ergebnis dieser Detektivarbeit sind Klimakurven, die mitunter mehrere Hunderttausend Jahre zurückreichen. Und da die Forscher Eis gleichen Alters von verschiedenen Orten der Erde miteinander vergleichen, erhalten sie ein recht genaues Bild vom weltweiten Klimageschehen früherer Zeiten.

Und können so unter anderem rekonstruieren, wie das Eis im Laufe der Zeit immer wieder ganze Kontinente erobert hat.

Löss: Klimadaten im Staub

Auch der Boden lässt die Forscher in die Vergangenheit blicken, mitunter bis zu 2,5 Millionen Jahre. Denn die Landoberfläche der Erde ist zu einem Zehntel mit Löss bedeckt, einem feinen, kalkhaltigen Staub, der sich auf allen Kontinenten findet, in Schichten von bis zu 500 Meter Dicke. Der Staub entsteht, wenn Eismassen und Frost festes Gestein zermahlen. Mit dem Wind verwehen die Teilchen bisweilen Tausende Kilometer, und wo die Vegetation ein Hindernis bildet, lagern sie sich ab.

In Kaltzeiten wachsen die Lössdecken daher besonders rasch; erwärmt sich das Klima, beginnen auf ihnen Pflanzen zu wachsen und eine Bodenschicht zu bilden. Geht die Warmzeit ihrem Ende entgegen, verlangsamen sich die Prozesse der Bodenbildung und

stoppen schließlich ganz. Neuer Löss weht heran und formt eine weitere Schicht.

Den Wechsel von Warm- und Kaltzeiten können Geologen somit in einem Lössprofil präzise ablesen. Sogar die kurzfristigen Temperaturschwankungen der letzten Kaltzeit sind in ihnen dokumentiert.

Tropfsteine: Säulen der Erde

Selbst in Höhlen werden die Klimahistoriker fündig. Denn wenn kalkreiches Wasser von der Decke einer Grotte tropft, hinterlässt es winzige Spuren, die mit der Zeit zu Tropfsteinen heranwachsen.

Diese oft mehrere Jahrtausende alten und etliche Meter langen Gebilde bergen ebenfalls Klima-Archive. Denn im Querschnitt zeigen sie feine Wachstumsringe: Je regenreicher und wärmer ein Jahr war, desto ausgeprägter sind die Zuwachszenen.

Meeresboden: Blick in die Zukunft

Noch viel mehr lässt sich aus jenen bis zu 20 Millionen Jahre alten Proben herauslesen, die die Polarforscher bei ihren Bohrungen aus dem Meeresboden der Antarktis gewonnen haben. Die Bohrkerne mit ihrer Schichtung von Sedi-



Manche Muschelschale lässt sich wie ein Kalender lesen: Das Gehäuse wächst in jährlichen Zyklen. So entstehen je nach Temperatur, Nähr- oder Sauerstoffgehalt des Wassers unterschiedliche Wachstumslinien

Memo: ZEITARCHIVE

► **Im 18. Jahrhundert** erkannte der schottische Naturforscher James Hutton anhand von Felsformationen, dass die Erde weitaus älter ist als bis dahin gedacht.

► **Heutzutage datieren** Geologen das Alter von Gesteinen mithilfe radioaktiver Messungen. Die ältesten sind rund vier Milliarden Jahre alt.

► **Granit, Quarz und Schiefer** archivieren wertvolle Daten über den Werdegang des Planeten – sowie Ascheschichten, die auf vergangene Vulkanausbrüche hindeuten.

► **Aus dem Meeresgrund** bergen Forscher Sedimentkerne, die bis zu 20 Millionen Jahre alt sind. Die Beschaffenheit der jeweiligen Schichten gibt Aufschluss über vergangene Klimaverhältnisse.

► **Auch Gletschereis** dient Wissenschaftlern als Zeitarchiv: Es schließt zum Beispiel winzige Bläschen ein, die uralte Luft enthalten.

► **Fossile Muscheln und Bäume** liefern Daten über die Umwelt von einst: Sie zeigen Wachstumszonen, deren Dicke je nach Klima variiert.

menten zeichnen nicht nur die Klimgeschichte der Polarregion nach, sondern ermöglichen auch Rückschlüsse auf die Umweltbedingungen des gesamten Planeten. Denn weitaus mehr als viele andere Gebiete bestimmt die Antarktis die globalen Umweltveränderungen: Schmelzen ihre gewaltigen Gletscher – etwa aufgrund einer Erwärmung der Atmosphäre und des Ozeanwassers –, steigt der Meeresspiegel dramatisch an, Überschwemmungen und Landverluste allerorten sind die Folge.

Und genau dazu, so zeigen es die Proben, ist es in den vergangenen 14 Millionen Jahren mehr als 60-mal gekommen. Immer wieder machten die Forscher in den Sedimenten Abschnitte aus, in denen sie nur Sand oder kleinere Steine fanden: ein Zeichen dafür, dass die Gletscher geschmolzen waren und auf ihrer Oberfläche kein Geröll mehr ins Meer befördern konnten.

Auch häuften sich in diesen Schichten die fossilen Spuren mariner Kleinstlebewesen und Muscheln. Das bedeutet: Die Lebensbedingungen müssen erträglicher, der Ozean wärmer gewesen sein, das schwimmende Meer-Eis muss sich weit zurückgezogen haben.

Wie stark sich das antarktische Klima aufheizen konnte, zeigt vor allem jenes 90 Meter lange und vier Millionen Jahre alte Bohrkernstück, das die Forscher 2006 bargen. Angereichert mit Abermilliarden fossiler Kieselalgen – und vollkommen grün gefärbt –, erzählt es von einer Episode in der Geschichte der Antarktis, in der das Meer dort eisfrei war und mehr als 200 000 Jahre lang vor Leben geradezu strotzte.

Damals lagen die durchschnittlichen Temperaturen um drei bis fünf Grad höher als heute. Der Kohlendioxidgehalt in der Luft, so haben Geowissenschaftler ermittelt, entsprach fast genau dem jetzigen.

Da es als wahrscheinlich gilt, dass bei fortlaufendem Klimawandel die Erde im Jahr 2100 drei bis fünf Grad wärmer sein wird als heute, ist anzunehmen, dass auf unserem Planeten dann ähnliche Bedingungen herrschen werden wie vor vier Millionen Jahren.

Durch das teilweise Abschmelzen der antarktischen Eismassen wird der Meeresspiegel dann – so die Prognose von Experten – um mindestens einen Meter ansteigen. Ohne Schutzmaßnahmen würde das Schmelzwasser weltweit Zehntausende Quadratkilometer Küstengebiete dauerhaft überschwemmen, 160 Millionen Menschen müssten nach heutigem Stand auf höher liegende Gebiete ausweichen.

Um ihre Berechnungen zu untermauern, wollen die Wissenschaftler im Jahr 2013 einen neuen Vorstoß in den Grund des Ozeans wagen.

Dann wollen sie den Zeittunnel noch weitaus tiefer treiben, soll die Reise in die Vergangenheit noch einmal zehn bis 20 Millionen Jahre weiter reichen. Und soll ihnen der Ausflug in die Vergangenheit abermals helfen, auch ein wenig in die Zukunft zu blicken. □

Sebastian Witte, 27, ist Wissenschaftsjournalist in Hamburg.

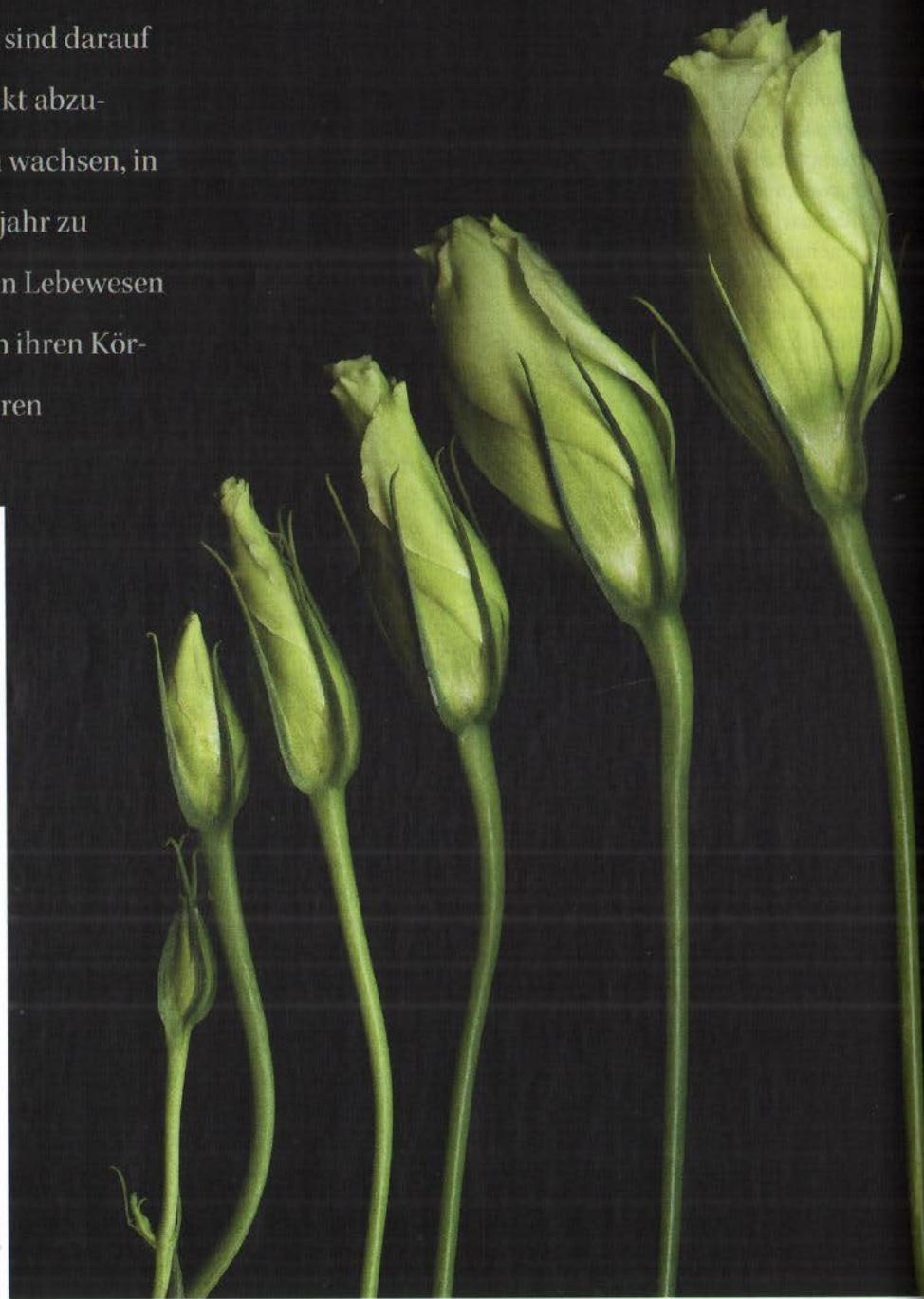
Die unsichtbaren Zeitmesser der Natur

Nicht nur Menschen halten sich an Termine. Auch Pflanzen und Tiere sind darauf angewiesen, den richtigen Zeitpunkt abzupassen: um sich fortzupflanzen, zu wachsen, in Winterruhe zu gehen und im Frühjahr zu erwachen. Daher haben die meisten Lebewesen raffinierte Taktgeber entwickelt: In ihren Körpern ticken Myriaden winziger Uhren

Text: Ute Eberle

Frühlingserwachen

Den wundersamen Vorgang des Erblühens (hier bei einer Japanrose) regt ein Eiweiß an, das in einer Pflanze zwölf Stunden nach Tagesbeginn gebildet und bei Dunkelheit sofort wieder abgebaut wird. Wenn im Frühjahr die Tage eine gewisse Länge überschreiten, sammelt sich derart viel Eiweiß in der Pflanzenzelle an, dass es sich an das Erbgut heftet und dort – wie eine Art Wecker – ein Gen aktiviert, das die Blütenbildung einleitet





W

Wer die Einstundenmücke *Clunio marinus* erleben will, muss gut planen. Die winzigen Insekten existieren im Erwachsenenstadium weniger als zwei Stunden – und kriechen nur alle 14 bis 15 Tage aus den Böden an den Atlantikküsten Europas, wo sie als Larve heranwachsen. Zu Hunderten kommen die Meeresmücken immer genau dann heraus, wenn Sonne und Mond und Erde am Himmel so zueinander stehen, dass sich das Wasser besonders weit zurückzieht (es also durch die gemeinsam wirkenden Anziehungskräfte zu einer Springtide mit ungewöhnlich tiefem Niedrigwasser kommt).

Aus dem Algenrasen, der dann frei liegt, krabbeln zuerst die Mückenmännchen. Sie fliegen zum nächsten Weibchen, helfen ihm, die Puppenhülle abzustreifen, paaren sich und tragen es zu einem neuen Fleck. Denn das Weibchen hat keine Flügel und ist auf diesen Transportdienst angewiesen. Am Ankunfts-ort legt es die befruchteten Eier an Rotalgen ab. Kurz darauf sterben die Insekten, und die Einstundenmücken verschwinden von der Küste – bis die nächste Generation alles bei der folgenden Springtide wiederholt.

Das bedeutet also: Die Mücken verbringen nur 0,6 Prozent ihrer Daseinsspanne als Erwachsene und müssen sich in einem winzigen Zeitfenster begegnen und fortpflanzen.

Würde man das Ganze auf die Dimensionen eines 80 Jahre dauernden Menschenlebens umrechnen, hieße das: Jedes Individuum würde 13 333 Jahre lang im Embryonalstadium verharren, in einer Art Dornrösenschlaf im abgeschlossenen Verlies. Und nach Ablauf dieser langen Zeit müssten Frauen wie

Männer genau zur gleichen Zeit hervortreten, einen Partner suchen und eine Familie gründen.

Es ist bemerkenswert, dass ein Insekt dies so exakt bewerkstelligt – ohne einen Kalender zu besitzen oder eine Uhr, wie wir sie kennen. Aber noch stauenswerter ist: Ähnliches findet ständig und überall um uns herum statt.

WIR HALTEN das Phänomen Zeit ja häufig für eine reine Erfindung des Menschen – zumindest wenn es um Termine oder Verabredungen geht. Tatsächlich aber ist sie ein uralter Daseinsfaktor.

Denn Leben strömt nicht, es pulsiert vielmehr: Fast alles wiederholt sich und zwar in Zyklen, die oft seit Abertausenden von Jahren bestehen. Sie können Sekundenbruchteile betragen wie beim Herzschlag. Oder sich über Jahrzehnte erstrecken – wie bei jenen Bambusarten, die nur alle 45 Jahre blühen.

Manche Rhythmen sind für das Auge unsichtbar, etwa wenn die Larven eines bestimmten Fadenwurmparasiten immer genau zu der Zeit in die Adern an

Armen und Beinen infizierter Menschen schwimmen, zu der Stechmücken aktiv sind, die den Schmarotzer mit dem Blut aufnehmen. Andere Zyklen sind unübersehbar, so die Wanderung der Monarchfalter, bei der sich jeden Herbst Tausende Schmetterlinge in Nordamerika sammeln und nach Mexiko fliegen.

Auch einzellige Algen, die wir kaum als Lebewesen wahrnehmen, folgen bestimmten Kreisläufen. Tagsüber steigen sie an die Meeresoberfläche und lassen sich nachts in die Tiefe sinken. Dabei richten sie sich nicht nach dem Stand der Sonne, sondern bringen sich in Position, noch ehe sie aufgeht.

Fische können ihre Augen so anpassen, dass sie nachts rund 30-mal lichtempfindlicher sind, am Tage jedoch Farben sehen und so Beute leichter erspähen oder Räubern ausweichen können. Die Umstellung benötigt mindestens 20 Minuten, sie beginnt, noch ehe die Sonne auf- oder untergeht.

Andere Tiere ändern zyklisch ihr Aussehen. Der dsungarische Zwerghamster in den Steppen Nordwestchinas etwa trägt weißes Fell, wiegt weniger als 30 Gramm und besitzt winzige Hoden – sie bringen es gerade einmal auf ein Zwanzigstelgramm. Zumaldest im Winter. Ein halbes Jahr später ist der Hamster braun, um ein Drittel schwerer, und seine Hoden sind auf das 10- bis 16-Fache angeschwollen.

Selbst Vorgänge, die nur einmal im Leben stattfinden, folgen oft Rhythmen – so wie das Schlüpfen der Einstundenmücke *Clunio marinus*.

Meist ist es dabei überlebenswichtig, dass ein Wesen genau zum richtigen Zeitpunkt handelt. Kriecht eine weibliche Meeresmücke zur falschen Stunde

Eiweißmoleküle
geben den
komplizierten
Rhythmus des
Lebens vor

aus ihrer Puppenhülle, ertrinkt sie – oder wird zumindest keinen Paarungspartner finden. Tritt ein Monarchfalter seine Wanderung ins Winterhabitat zu spät an, muss er allein fliegen – und wird wohl nicht lange überleben.

Es ist also essenziell, dass Tiere „wissen“, welche Zeit es ist, und dass sie Stunden, Tage, Monate und selbst Jahre auseinanderhalten können. Wie sie das machen, verblüfft Forscher bis heute.

Das Leben folgt Rhythmen, weil unser Planet von ihnen bestimmt ist. Jeden Tag dreht sich die Erde einmal um ihre Achse – und alle 365,25 Tage um die Sonne. Abhängig davon wird es abwechselnd hell und dunkel. Der Mond wiederum umkreist die Erde: Der Neumond am Firmament wächst zum Vollmond und schrumpft wieder, zweimal täglich schwappen Fluten über die Küsten. Jahreszeiten wechseln sich ab, da die Erdachse geneigt ist.

Für die meisten Organismen bedeutet dies, dass sich die Bedingungen in ihren Habitaten immer wieder dramatisch ändern.

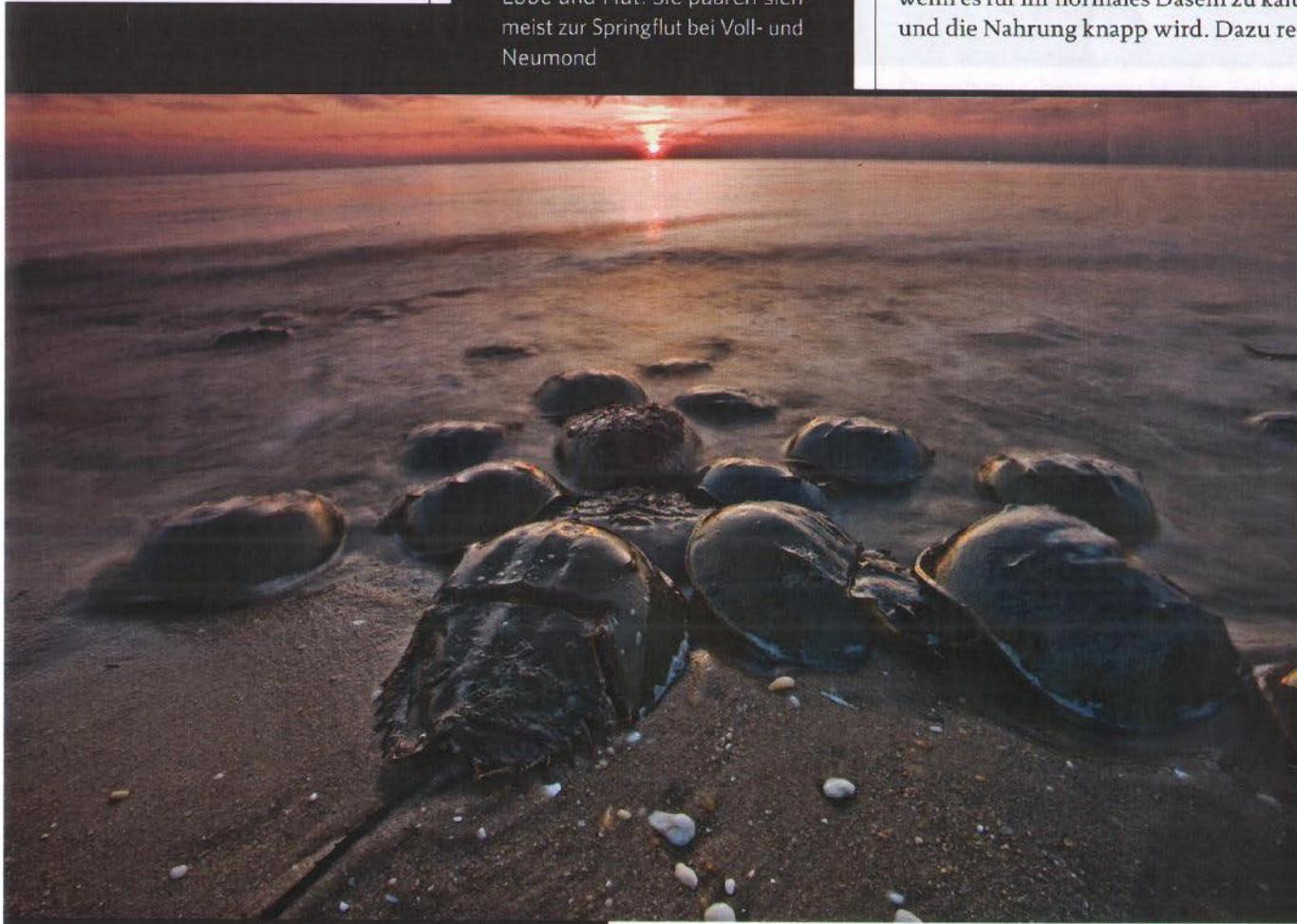
Am Nordpol etwa scheint die Sonne monatelang ohne Unterbrechung – und dann lange überhaupt nicht. Einige Breitengrade darunter, in Kanada und Sibirien, steigen die Temperaturen im Sommer auf über 30 Grad Celsius und fallen im Winter unter minus 40 Grad. Und selbst am Äquator gibt es Trocken- und Regenzeiten.

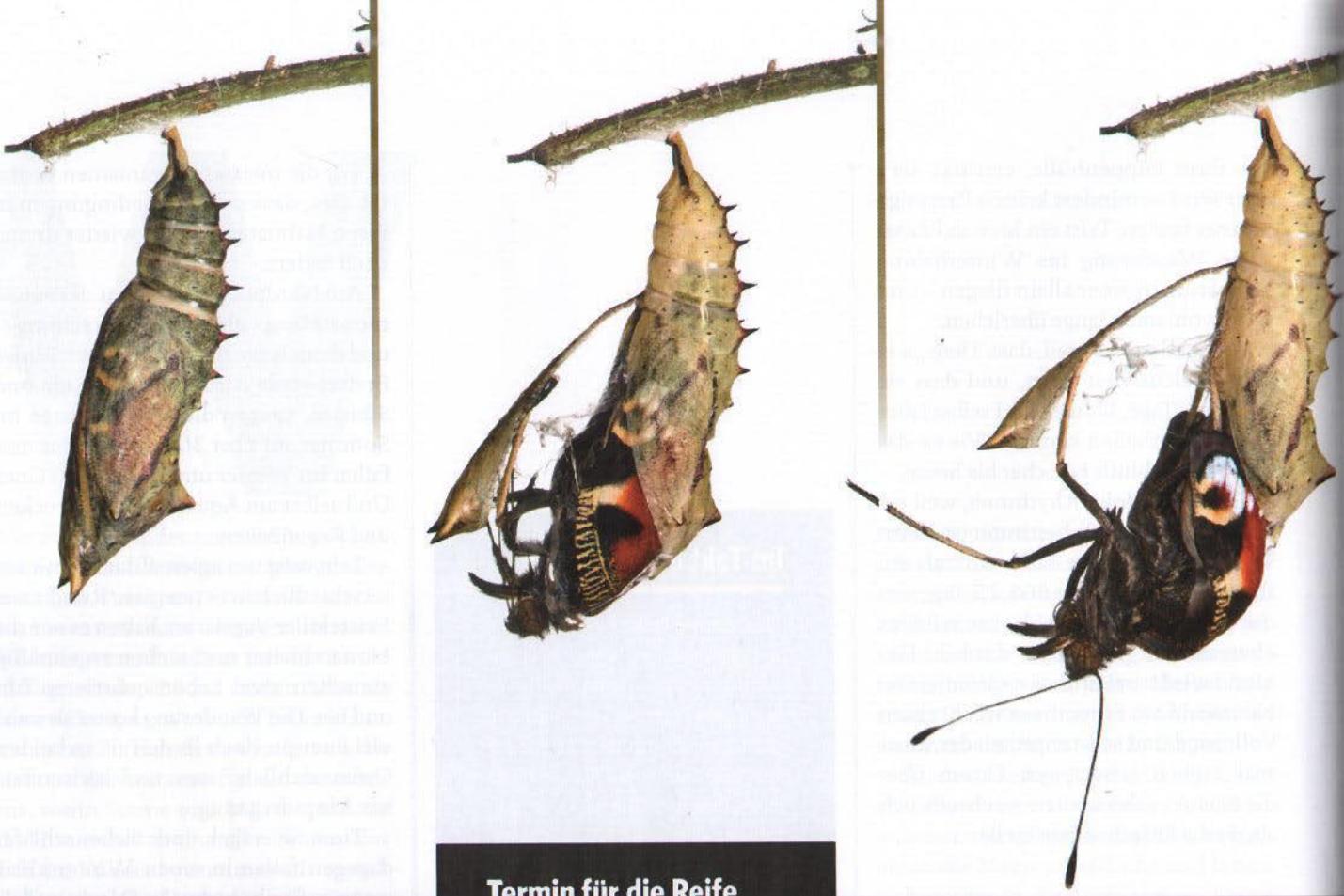
Lebewesen reagieren darauf mit unterschiedlichen Strategien. Rund zwei Drittel aller Vogelarten halten es wie die Monarchfalter und ziehen regelmäßig zwischen zwei Lebensquartieren hin und her. Die Wanderung kostet sie zwar viel Energie, doch finden sie an beiden Orten reichlich Futter, und das ist offenbar Ansporn genug.

Tiere wie Igel und Siebenschläfer dagegen fallen in einen Winterschlaf, wenn es für ihr normales Dasein zu kalt und die Nahrung knapp wird. Dazu re-

Im Takt der Gezeiten

Tausende Pfeilschwanzkrebse versammeln sich jeden Frühsommer zur Fortpflanzung vor der Küste New Jerseys. Um den richtigen Zeitpunkt abzupassen, orientieren sie sich mithilfe eines inneren Kalenders an den Jahreszeiten, den Mondphasen und der natürlichen Abfolge von Ebbe und Flut: Sie paaren sich meist zur Springflut bei Voll- und Neumond





Termin für die Reife

duzieren sie ihren Stoffwechsel um bis zu 99 Prozent: So lässt der Igel seine Körpertemperatur von 36 Grad auf acht bis ein Grad sacken, Murmeltiere legen minutenlange Atempausen ein. Auf diese Weise harren sie aus, bis sich wieder bessere Bedingungen bieten.

Um das zu überstehen, müssen sie ihr Verhalten jedoch rechtzeitig an einen Wechsel der Jahreszeit anpassen.

Der Kappenwaldsänger etwa ist ein Vogel, der bis zu 90 Stunden ununterbrochen über den Atlantik fliegt, um von Neuengland in sein Winterquartier in Südamerika zu gelangen. Will er diesen Kraftakt überleben, muss er sich bei Zeiten Fett anfressen – er nimmt in den Wochen vor dem Abflug von elf auf 21 Gramm zu. Seine Flugmuskeln wachsen, damit sie den schwereren Leib heben können. Seine inneren Organe dagegen schrumpfen vermutlich. Fliegt er dann los, verbrennt er stündlich 0,6 Prozent seines Körpermengewichts.

Ähnliches gilt für die Fortpflanzung: Nachwuchs, der in jenen Monaten zur

Fast alle Lebensvorgänge – etwa Verdauung, Zellerneuerung oder Wachstum – werden bei Tieren wie Pflanzen von inneren Taktgebern gesteuert. So gelingt es auch dem Tagpfauenauge, seine Eier stets in den sonnigen Monaten zu legen. Denn nur dann finden die Raupen genug Nahrung, um sich schließlich zu verpuppen und ein bis zwei Wochen später als fertige Schmetterlinge aus ihrer Hülle zu schlüpfen

Welt kommt, in denen es üppig Futter gibt, hat bessere Überlebenschancen. Doch um ihn zu produzieren, muss ein Tier zunächst ein Revier suchen, muss um einen Partner buhlen und seine Geschlechtsorgane vorbereiten (da es Energieverschwendungen wäre, Hoden und Eierstöcke zu unterhalten, wenn keine Fortpflanzung stattfindet, lassen viele Tiere sie über lange Zeiten des Jahres auf ein Minimum schrumpfen).

Rechnet man dazu, dass Eier noch ausgebrütet oder Föten ausgetragen werden müssen, beansprucht die Fortpflanzung oft Monate. Begänne ein Tier diesen Prozess erst dann, wenn die Nahrung bereits reift, würden die Jungen viel zu spät geboren, um von ihr zu profitieren.

Ahnt ein Organismus periodische Veränderungen dagegen voraus und steuert seine Lebensprozesse entsprechend, vermag er die Zeitfenster optimal zu nutzen. Und er kann seine Fortpflanzung möglicherweise sogar so präzise koordinieren, dass fast alle Jungen einer Art gleichzeitig zur Welt kommen – und potenzielle Räuber nur einen



Teil von ihnen verschlingen, weil sie bald satt sind.

FAST ALLE LEBEWESEN, darunter Pilze, Quallen, Insekten und Säuger, besitzen innere Zeitmesser, auch der Mensch (siehe Seite 60). Sie verfügen in fast jeder Zelle ihres Körpers über spezielle Gene, deren Aktivität steigt und fällt und so einen Zeittakt vorgibt. Es sind quasi winzige Uhren.

Und das funktioniert so: Meist wirken in den Körperfzellen verschiedene Gene zusammen. Jedes von ihnen produziert eine bestimmte

Sorte von Eiweißmolekülen, die sich in der Zelle anreichern. Sind ihre Konzentrationen hoch genug, verbinden sich die unterschiedlichen Moleküle, und die Menge dieser Proteinkomplexe nimmt nach und nach zu, schaukelt sich also auf. Überschreitet sie schließlich

einen Schwellenwert, löst dies eine biochemische Hemmung aus: Die entsprechenden Gene stellen keine weiteren Proteinmoleküle mehr her.

Das Pendel schwingt nun wieder zurück, denn die bereits gefertigten Eiweiße zerfallen allmählich, ihre Menge nimmt ab. Unterschreitet ihre Konzentration nach gewisser Zeit einen bestimmten Wert, fällt die Hemmung weg – und die Eiweißproduktion wird erneut angekurbelt. Der Prozess beginnt von vorn.

Und da dieser Wechsel aus Auf- und Abbau, Anschwellen und Ab-

sinken der Konzentrationen immer ungefähr die gleiche Zeit in Anspruch nimmt, gibt er den Takt der inneren Uhr vor.

Für sich allein erlaubt das Auf und Ab der Proteinpegel in den Zellen aber nur eine grobe Zeitabschätzung. Je nach

Organismus beansprucht der Zyklus 22 bis 28 Stunden.

Es muss daher eine Instanz geben, die die Billionen winziger Zelluhren in einen gleichen Gang bringt, sie synchronisiert. Zudem müssen Lebewesen den Gang ihrer Körperuhr permanent mit äußeren Zeitgebern vergleichen, etwa dem Tag-und-Nacht-Wechsel.

Um den wahrzunehmen, besitzen viele Organismen eigens lichtsensitische Zellen, die etwa beim Pfeilschwanzkrebs im Schwanz sitzen (da dieser fast ständig aus dem Sand ragt), bei Vögeln dagegen direkt im Gehirn – denn ihr Schädel ist so dünn, dass die Strahlen der Sonne hindurchdringen.

Bei Säugetieren ist für Synchronisation aller Zelluhren im Körper ein Bündel aus Nervenzellen im Gehirn zuständig: der Suprachiasmatische Nucleus (SCN). Dieser zentrale Rhythmusgeber sitzt – aufgeteilt in zwei Kerne – dort, wo sich die Sehnerven kreuzen.

Durch die Lichtrezeptoren in den Augen, die registrieren, ob es hell oder dunkel ist, und diese Information über

Ein Bündel aus Nervenzellen synchronisiert alle Uhren im Körper

Die Konzentrationen der Proteine in den Zellen schwanken im Takt der inneren Uhr. Je nach



die Sehnen an ihn weiterleiten, erfährt der SCN, ob es Tag oder Nacht ist.

Fällt morgens Sonnenlicht auf die Lichtrezeptoren eines Säugetiers, gibt der SCN ein biochemisches Signal an die Zirbeldrüse im Gehirn weiter. Die stoppt daraufhin die Ausschüttung des schlaffördernden Hormons Melatonin und signalisiert so allen inneren Uhren, dass der Tag beginnt.

Abends bildet die Zirbeldrüse dagegen Melatonin in hohen Konzentrationen, wiederum gesteuert durch den SCN. Die Zellen erhalten so die Information, dass der Tag zu Ende ist: Die innere Uhr synchronisiert sich mit dem äußeren Hell-dunkel-Rhythmus.

Anhand der Tageslänge können Lebewesen zudem bestimmen, in welcher Zeit des Jahres sie sich befinden – schließlich nimmt die Zahl der hellen Stunden im Herbst ab, im Frühjahr zu.

Zugvögel beispielsweise ahnen den anstehenden Herbst anhand der sich ausdehnenden Nächte, lange bevor die Temperaturen sinken.

Der Vogelkalender

Zugvögel wie diese Stare bestimmen anhand der Tageslänge, in welcher Zeit des Jahres sie sich befinden – schließlich nimmt die Zahl der hellen Stunden im Herbst ab, im Frühjahr zu. So nehmen sie im Herbst wahr, dass sich die Nächte ausdehnen, und die meisten brechen zu ihren Winterquartieren rund um das Mittelmeer auf, lange bevor die Temperaturen sinken

Der Langschwanziesel, ein Nager aus der Familie der Hörnchen, beginnt unabhängig vom Wetter stets zwischen dem 5. und 12. Oktober seinen Winterschlaf und wird im Frühjahr zwischen dem 20. und 22. April erneut rege.

Und bei Schafen bewirken die kürzer werdenden Tage im Spätsommer, dass sie empfängnisbereit werden und sich im Herbst paaren, sodass die Lämmer im Frühjahr zur Welt kommen.

AUCH PFLANZEN werden von inneren Uhren gesteuert. So werfen Bäume in bestimmten Klimazonen in für sie ungünstigen Jahreszeiten oft ihre Blätter ab, und Blumen lassen Stängel und Blüten verdorren – weil es zu kalt ist und den Blättern Erfrierungen drohen oder um Wassermangel vorzubeugen.

Manche Gewächse horten Reservestoffe in Zwiebeln, Knollen oder Speicherwurzeln, auf die sie etwa nach

Manche Lebensrhythmen dauern Sekunden, andere Jahrzehnte

karger Zeit zur Bildung neuer Triebe und Sprosse zurückgreifen können. Und viele Pflanzen blühen im Frühjahr erst dann, wenn die Tage eine gewisse Länge überschreiten.

Wie eine solche Blütenbildung ausgelöst wird, konnten Kölner Genetiker vor einiger Zeit ermitteln. Auch hier ist ein Eiweiß von Bedeutung. Es heißt Constans, wird zwölf Stunden nach Tagesbeginn gebildet und bei Dunkelheit wieder abgebaut. Erst wenn die Tageslänge eine gewisse Dauer überschreitet – es also in den Abendstunden noch hell ist –, bleibt das Protein erhalten.

Es häufen sich dann derart viele Constans-Moleküle an, dass sie sich an eine bestimmte Stelle der Erbsubstanz DNS anlagern und dort ein Gen einschalten: ebenjenes Gen, das nun die Blütenbildung anstößt.

Zwar verfügen die Pflanzen – anders als die Säugetiere mit dem SCN – nicht

über einen zentralen Taktgeber. Aber sie können über biochemische Bindungglieder andere Stoffwechselvorgänge anstoßen und so ineinander greifende Prozesse steuern: beispielsweise, wann die Blüten spritzen oder die Blätter abfallen sollen.

Die Schmetterlingsuhr

Jedes Jahr legen Millionen Monarchfalter 4000 Kilometer Luftweg zurück – von Nordamerika nach Zentralmexiko. Zur Navigation orientieren sich die Tiere unter anderem am Sonnenstand. Das funktioniert nur, weil ihnen eine innere Uhr die Tageszeit signalisiert: So können sie Kurs halten, obwohl sich die Position des Gestirns ständig ändert

Vermutlich werden fast alle Lebensprozesse – wann ein Tier schläft, verdaut oder seine Zellen erneuert, wann eine Blume ihre Blüten öffnet und schließt, wann ein Pilz Sporen ausschießt – von inneren Uhren gesteuert. Mit ihrer Hilfe kann ein Organismus zudem verhindern, dass Prozesse, die inkompatibel sind, gleichzeitig ablaufen.

Die Photosynthese in Pflanzen etwa verläuft in zwei Hauptstufen: Erst verwandelt das Gewächs bestimmte Wellenlängen des Sonnenlichts über lichtabsorbierende Farbstoffe wie Chlorophyll in chemische Energie. Dann baut die Pflanze damit aus Kohlendioxid der Luft energiereiche Kohlenhydrate auf. Beides geht biochemisch nicht gleichzeitig. Dank ihrer inneren Uhren halten Pflanzen beide Stufen getrennt.

Der grundlegende Vorgang – dass sich Eiweiße in einer Rückkopplungs-



Der Mensch und sein innerer Tag

Eine spezielle Hirnregion sorgt dafür, dass wir unseren Rhythmus finden

Genau wie bei Tieren ticken auch in den Körpern des Menschen Aberbilliarden von inneren Uhren, die in nahezu jeder einzelnen Zelle sitzen. Sie werden von einer Art Dirigent in den gleichen Takt gebracht: einer stecknadelkopfgroßen Region hinter unserer Stirn, dem Suprachiasmatischen Nucleus (SCN; siehe auch GEOkompa^tkt Nr. 26, „Die Signale unseres Körpers“).

Dieser Hirnteil arbeitet als eine Art übergeordnete Uhr und richtet seinen Takt nach der Helligkeit in unserer Umgebung. Immer dann, wenn es beispielsweise dunkel wird, regt der SCN die Ausschüttung des schlaffördernden Hormons Melatonin an. Am Morgen hingegen, wenn die Lichtrezeptoren unserer Augen wieder Helligkeit registrieren, wird die Melatonin-Produktion eingeschaltet, und der Organismus erwacht.

Jeden Tag sorgt der SCN auf diese Weise dafür, dass all die einzelnen Zellen, die im Konvolut einen Menschen formen, im selben Rhythmus laufen und unseren Tag in der immer gleichbleibenden Periodik steuern.

Doch auch ohne Licht findet unser Körper in einen Rhythmus, wie Forscher herausgefunden haben. Obwohl sie von allen äußeren Zeitgebern abgeschottet waren, entwickelten Versuchspersonen, die wochenlang in völliger Isolation lebten, einen Tagesrhythmus. Dieser „innere Tag“ dauert, so zeigten weitere Untersuchungen, ziemlich genau 24 Stunden und 20 Minuten.

In der Regel aber werden die Billionen Zelluhren – die in ihrer Funktionsweise fast identisch sind mit denen der Säugetiere – durch das natürliche Licht und den SCN immer wieder mit dem irdischen Tag synchronisiert.

Und könnte er so leben, wie es sein Biorhythmus vorgibt, würde der Mensch jeden Morgen gegen 8.30 Uhr aus dem Bett steigen und sich etwa um 0.30 Uhr zum Schlafen legen. Da wir aufgrund der Zwänge der modernen Industriegesellschaft aber durchschnittlich um 6.30 Uhr aufstehen, leben wir sozusagen dauerhaft in einem sozialen Jetlag.

Julia Völker

reaktion pendelartig aufschaukeln und bremsen – verläuft bei fast allen Lebewesen ähnlich, gleichgültig, ob es sich um Säugetiere, Pflanzen, Bakterien oder Insekten handelt. Nur welche Gene dabei eingesetzt werden, das variiert. Und statt der Sonne nutzen manche Organismen den Mond oder die Gezeiten als Zeitgeber.

Bei der Einstundenmücke Clunio an den europäischen Atlantikküsten wirken offenbar zwei Rhythmen zusammen und lösen das Schlüpfen der erwachsenen Tiere aus der Puppenhülle aus:

- zum einen die 24-Stunden-Uhr, die durch den täglichen Hell-dunkel-Wechsel vorgegeben ist;
- zum anderen eine 14-Tage-Uhr, die durch unterschiedliche äußere Faktoren getaktet wird – je nachdem, wo die Tiere leben. Bei arktischen Populationen sind

es offenbar rhythmische Temperaturschwankungen, bei Helgoländer Meeresmücken sind es Turbulenzen des Meerwassers, und bei weiter südlich lebenden Populationen ist es das Mondlicht.

Die 14-Tage-Uhr vermittelt den Tieren, wann die Springtide einsetzt, und die Tagesuhr lässt sie zur richtigen Stunde schlüpfen.

DIE FÄHIGKEIT zur Zeitmessung hat sich im Verlauf der Evolution vermutlich gleich mehrfach entwickelt – davon jedenfalls gehen manche Forscher aus. Erstmals geschah dies wohl, bald nachdem sich Leben geformt hatte.

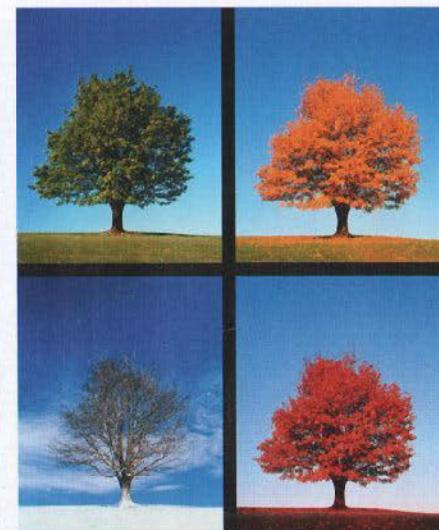
Schon simple Cyanobakterien, die vor mehr als 3,5 Milliarden Jahren entstanden, aber noch heute zu finden sind, etwa im Meerwasser, strukturieren ihren Stoffwechsel rhythmisch: In den

Mittagsstunden stoppen sie die Teilung für drei bis sechs Stunden.

Denn als sich die Einzeller einst entwickelten, schützte keine Ozonschicht die Erde – das aggressive UV-Licht der Sonne schien ungebremst auf die Oberfläche.¹ Die Erbmoleküle aber sind in jener Teilungsphase, wenn sie sich auftrennen und neue Bausteine aneinandergereiht werden, besonders anfällig für Schädigungen durch die Energie des ultravioletten Lichts. Und so waren Organismen, die ihre Zellteilung während der Mittagsstunden ruhen ließen, besser vor den Strahlen geschützt.

Weil Gene die Körperuhren steuern, werden einmal etablierte Rhythmen stets an den Nachwuchs vererbt – sie gehen einem Organismus buchstäblich in Fleisch und Blut über.

Fruchtfliegen etwa schlüpfen genetisch gesteuert stets morgens, weil es in der Natur dann kühl und feucht ist; das



Im Wandel des Jahres

Pflanzen wie dieser Ahorn könnten ohne Zeitgefühl nicht überleben. Keimten die Blätter im Winter, erfrönen sie. Wäre der Baum im Sommer laublos, könnte er keine Sonnenenergie tanken. Daher steuern molekulare Zeitgeber jene biochemischen Vorgänge, die den Baum im Verlauf des Jahres prägen

Selbst mikroskopisch kleine Bakterien folgen bestimmten Zyklen

gibt ihnen Zeit, ihre Flügel zu strecken, bevor die trocknen und härten (Larven, die an einem Nachmittag schlüpfbereit werden, sind genetisch programmiert, den Folgetag abzuwarten).

Und selbst wenn Forscher die Insekten in einem Labor züchteten, in dem es immer gleich warm und feucht war, hielten die Fruchtfliegen noch 600 Generationen später an ihrem Takt fest.

Allerdings muss auch diese genetisch gesteuerte Uhr in der Natur erst angestoßen werden. Zieht man etwa die Mücken vom Ei bis zum erwachsenen Insekt in totaler Dunkelheit auf, zeigen sie keinerlei Rhythmus: Sie schlüpfen zu jeder Nacht- und Tageszeit. Doch schon ein kurzer Lichtblitz von nur einer Tausendstelsekunde Länge reicht, um den natürlichen Takt auszulösen – die innere Uhr beginnt unabhängig von äußeren Bedingungen zu schwingen.

Bemerkenswert ist, dass der Zeitmesser stets gleich schnell läuft –

gleichgültig, wie warm oder kalt es ist. Während biochemische Reaktionen in der Regel temperaturabhängig sind (sie verdoppeln ihre Geschwindigkeit alle zehn Grad), schwingen die Zeitgene immer im selben Tempo hin und her. Das erlaubt ihnen, sommers wie winters den gleichen Takt zu halten.

Lebewesen müssen also eine Möglichkeit haben, die Temperatur biologischer Uhren konstant zu halten – doch welche, das haben die Biologen bislang nicht herausgefunden.

Auch haben sie noch längst nicht alle Taktgeber aufgespürt. Vielmehr ticken in den Zellen von Tieren und Pflanzen vermutlich ganze Ensembles von noch unerkannten inneren Uhren. Zerstört man etwa den SCN im Gehirn von Erdhörnchen, verlieren sie

zwar ihren Tagesrhythmus, fressen und schlafen nun willkürlich. Doch sie fallen weiter in einen Winterschlaf. Offenbar besitzen sie neben ihrer Tagesuhr eine Jahresuhr. Wie die aber funktioniert und wo sie im Körper angesiedelt ist, ist bisher rätselhaft.

FEST STEHT: Der Rhythmus eines Lebewesens ist meist eng mit den Zyklen anderer Organismen verflochten.

Die Blüten des Tabaks etwa entsenden Duftstoffe, wenn die Sonne untergeht: Denn dann schwärmen die nachtaktiven Insekten aus, von denen die Pflanze bestäubt wird.

Die Larven eines Fadenwurms begeben sich zu genau der Tageszeit in die Blutgefäße ihres menschlichen Wirtes, zu der Stechmücken fliegen, die das Blut



Sprachen lernen? Betrachten Sie es als ein Kinderspiel.

Erinnern Sie sich daran, wie Sie als Kind Ihre Muttersprache erlernt haben. Die Welt war Ihr Klassenzimmer, aber es gab keine Schulstunden. Sie haben auf eine spielerische Weise aktiv am Lernprozess teilgenommen. **Es war ein Kinderspiel.**

Das ist das Geheimnis von Rosetta Stone. Wir fördern Ihre natürliche Fähigkeit, eine Sprache zu erlernen. Unsere **Dynamic Immersion™** Methode hilft Ihnen von Anfang an in der neuen Sprache zu denken, nämlich ganz ohne Übersetzungen und lästiges Auswendiglernen von Vokabeln. Sie haben Spaß und finden es leicht, Ihre Sprachlernziele zu verwirklichen.



In 31
Sprachen
erhältlich

10% Rabatt
+ Gratis Lieferung

Aktionscode "geok311"

Informieren Sie sich jetzt
0800 030 30 602
RosettaStone.de/geok311

RosettaStone 

► **Das Verhalten** der meisten Lebewesen folgt festgelegten Rhythmen. So paaren sich zahlreiche Tiere nur zu einer bestimmten Jahreszeit, schlafen nachts, manche fallen im Winter in Starre. Etliche Pflanzen blühen im Frühling, viele Bäume lassen im Herbst die Blätter fallen.

► **Daher sind fast** alle Organismen – Tiere, Pflanzen, Pilze – in der Lage, Zeit zu messen. Einige nehmen Stunden oder Tage wahr, andere Monate oder gar Jahre.

► **Schon vor Jahrtausenden** haben sich in ihren Zellen (vermutlich mehrfach und unabhängig voneinander) molekulare, genetisch verankerte Uhren entwickelt.

► **Diese inneren Zeitgeber** beruhen darauf, dass bestimmte Stoffe wie Eiweiße periodisch auf- und abgebaut werden. Und nur zu bestimmten Zeiten Prozesse anstoßen – etwa, dass ein Hormon ausgeschüttet wird.

► **Molekulare Uhren** werden oft durch äußere Rhythmen wie den Tag-und-Nacht-Wechsel synchronisiert.

► **Säugetiere besitzen** in ihrem Gehirn eine übergeordnete Instanz, den Suprachiasmatischen Nucleus, der sämtliche Zelluhren im Körper immer wieder aufs Neue gleichstellt.

kommt. Schuld ist der Klimawandel. Und während manche Organismen stur dem Kalender – also der Tageslänge – folgen, reagieren andere flexibler, wenn sich ihre Umweltbedingungen ändern.

Die Schwalben der Mission San Juan Capistrano südlich von Los Angeles etwa verlassen Kalifornien seit 200 Jahren stets am 23. Oktober, um nach Argentinien zu fliegen, und kehren am 19. März zurück. Daran hat sich durch den Klimawandel nichts geändert.

Auch der Brutplan des Großen Gelbschenkels ist rigide. Alle Küken dieser Schnepfenart schlüpfen zwischen dem 26. und

29. März. In den Genen beider Vogelarten scheint also eine bestimmte Tageslänge festgeschrieben, die ihr Verhalten beeinflusst.

Pflanzen dagegen messen zwar die Tageslänge, richten ihr Wachstum aber eher danach aus, wie warm oder trocken es in einem gegebenen Jahr ist – können also unabhängig von ihrer inneren Uhr auf Umweltbedingungen reagieren. Und da die Temperaturen aufgrund des Klimawandels seit einiger Zeit im Jahresverlauf früher steigen, beginnen viele Pflanzen früher zu wachsen.

Biologen haben 125 000 Beobachtungen ausgewertet, die zwischen 1971 und 2000 für 542 Pflanzenarten in 21 Ländern Europas gesammelt worden waren, und kamen zu dem Schluss: 78 Prozent der Pflanzen haben

in dieser Periode den Zeitpunkt, an dem sie spritzen, blühen und Früchte bilden, nach vorn verlegt – und zwar im Frühjahr und Sommer um durchschnittlich zweieinhalb Tage pro Jahrzehnt.

Was das bewirken kann, studieren Marcel Visser und seine Kollegen vom Niederländischen Institut für Ökologie in den Wäldern rund um Arnheim. Dort schlagen die Eichen heute zehn Tage früher aus als vor 20 Jahren, und die Raupen des Kleinen Frostspanners, eines Schmetterlings, der sich von ihren jungen Blättern ernährt, schlüpfen sogar 15 Tage früher. Die Insekten richten sich also nicht allein nach der inneren Uhr und der Tageslänge, sondern reagieren auf die klimatischen Bedingungen und das Nahrungsangebot.

Der Trauerschnäppervogel aber, der seine Küken mit den Raupen füttert, kehrt zur gewohnten Zeit aus seinem Winterhabitat in Westafrika zurück, denn sein Aufbruchsignal ist – genetisch programmiert – die Tageslänge.

Dadurch aber kommt er inzwischen oft zu spät: Die Raupen sind längst geschlüpft, der Nachwuchs muss hungrig. Manche Trauerschnäpperpopulationen haben 90 Prozent ihrer Bestände verloren.

Überall auf der Erde verfolgen Biologen ähnliche Vorgänge. Doch sie beobachten auch schon erfolgreiche Anpassungen, die sich im Erbgut niederschlagen. Die Mücke *Wyeomyia smithii* etwa, die in den Trichterblättern einer nordamerikanischen Kannenpflanze lebt, bereitet ihre jährliche Ruhephase genetisch festgeschrieben auf die Tageslänge vor. Doch inzwischen beginnt sie diese Phase messbar später.

Offenbar haben vor allem jene Tiere überlebt, deren Uhrengene sie später in die Ruhephase gehen ließen – und die diese Information an ihre Nachfahren vererbt haben. Die neuen Klimabedingungen sind also bereits im Erbgut verankert.

Das heißt: Auch wenn alte Zeitnetze reißen, werden neue entstehen. Denn unverändert bleibt: Leben ist rhythmisch. □

Ute Eberle, 39, ist Wissenschaftsjournalistin in Leiden, Niederlande.

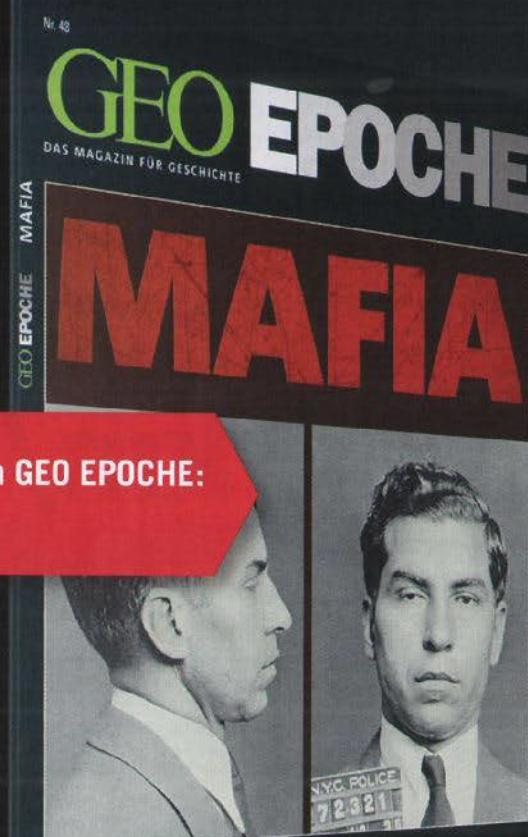
Literaturempfehlungen: Russell Foster und Leon Kreitzman, „Seasons of life“, Profile Books; sehr anschaulich und verständlich geschriebenes Buch über die Rolle und Funktion natürlicher Rhythmen in der Evolution des Lebens. John D. Palmer, „The Living Clock“, Oxford University Press; umfassender Überblick über die inneren Uhren im Tier- und Pflanzenreich.

Forscher haben noch nicht alle natürlichen Uhren gefunden

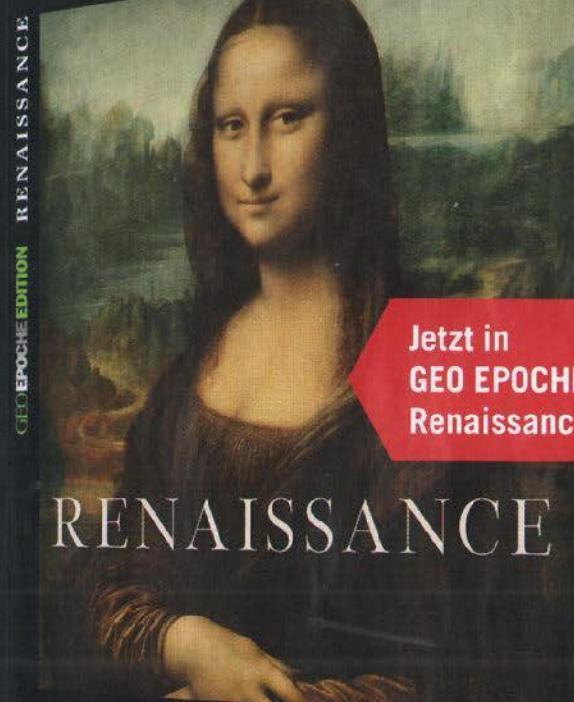
GRAS KEIMT, wenn sich der Boden im Frühjahr aufwärmst, Hirschkühe werfen Kitze, wenn das Gras üppig steht, Wolfsfären gebären Welpen, wenn es viele Hirschkalber zu jagen gibt: So hat sich die Existenz vieler Wesen über Jahrtausende zu weit wuchernden Zeitnetzen verwoben.

Seit Kurzem allerdings beobachten Forscher, dass es immer wieder zu Störungen in diesen uralten Prozessen

Geschichte erleben mit GEO EPOCHE. Und Kunstgeschichte erleben mit GEO EPOCHE EDITION.



NR. 3
GEO EPOCHE EDITION
DIE GESCHICHTE DER KUNST





Pflanze mit Blitzreaktion

Wie die Venusfliegenfalle ihre Beute fängt

Die wohl schnellste Signalübertragung im Pflanzenreich haben Forscher bei der Venusfliegenfalle ermittelt. Wenn dieses fleischfressende Gewächs an seiner Blattoberfläche mittels Sinnesborsten die Bewegung einer Fliege registriert, wird der Reiz mit 20 Zentimetern pro Sekunde (0,72 km/h) an Zellen im Blattinneren weitergeleitet, die dafür sorgen, dass sich die Blathälften der Falle blitzartig um das Insekt schließen. Noch viel schneller, nämlich in einer Tausendstesekunde, katapultiert der Kanadische Hartriegel seine Pollen in die Luft. Allerdings handelt es sich dabei nicht um eine aktive, wiederholbare Bewegung, sondern um einen einmaligen Schleudermechanismus. ■



Erneuerung im Rekordtempo

Schleimhautzellen des Dünndarms leben nur 35 Stunden

Im Dünndarm des Menschen wird der Nahrungsbrei aus dem Magen unter anderem durch Gallensäure sowie Enzyme in seine Bestandteile zerlegt, und die Nährstoffe werden ins Blut aufgenommen. Diese Aufgabe übernehmen die Schleimhautzellen auf der Innenseite dieses Darmabschnitts: Dabei werden sie so stark beansprucht, dass jede einzelne schon nach etwa 35 Stunden ersetzt werden muss – die schnellste Zellerneuerung im menschlichen Körper. ■

253 km/h

Das schnellste Tier

In Panama haben Insektenforscher Termiten der Art *Termites panamaensis* mit einer Hochgeschwindigkeitskamera gefilmt – und dabei herausgefunden,



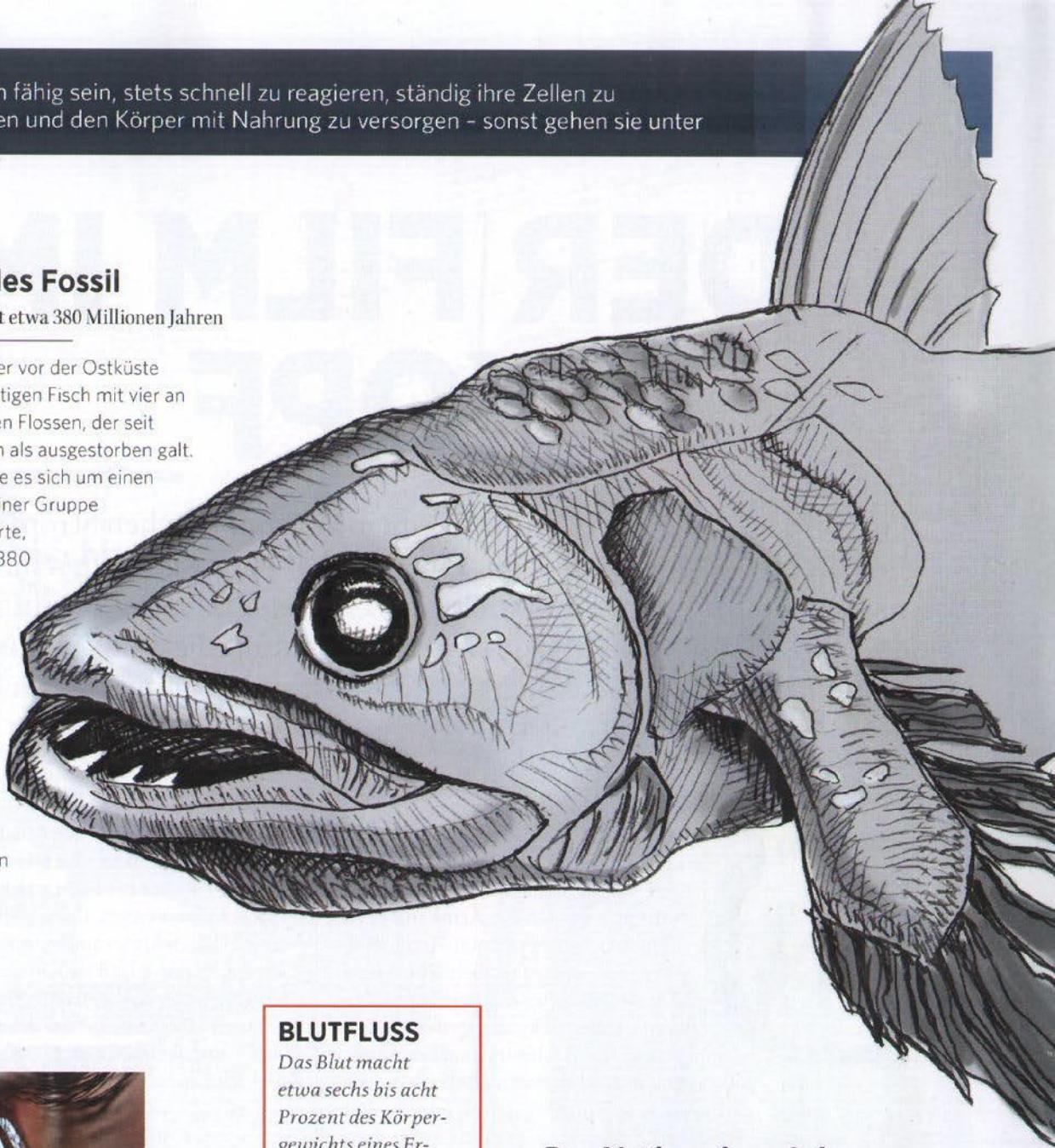
dass deren Beißwerkzeuge mit einer Geschwindigkeit von 70,4 Metern pro Sekunde (253 km/h) zuschnappen. Mit solchen Kieferschlägen töten sie Eindringlinge in den Gängen ihrer Kolonien. ■

Organismen müssen fähig sein, stets schnell zu reagieren, ständig ihre Zellen zu erneuern, zu wachsen und den Körper mit Nahrung zu versorgen - sonst gehen sie unter

Lebendes Fossil

Quastenflosser gibt es seit etwa 380 Millionen Jahren

1938 entdeckten Forscher vor der Ostküste Südafrikas einen eigenartigen Fisch mit vier an Beinstummel erinnernden Flossen, der seit rund 70 Millionen Jahren als ausgestorben galt. Bei diesem Fang handelte es sich um einen Quastenflosser, der zu einer Gruppe der Knochenfische gehörte, die bereits vor mehr als 380 Millionen Jahren lebte, zum Ende der Kreidezeit aber vermeintlich ausgestorben war. Der Fund lieferte nun die Erkenntnis, dass die Gruppe dieser Knochenfische fast unverändert bis heute existiert und somit zu den ältesten Wirbeltieren der Erde zählt. ■



Das Zittern des Auges

Extrem kurze Bewegungen sind zum Scharfsehen nötig

Der Blicksprung, auch Sakkade genannt, ist die wohl schnellste Bewegung des Menschen; sie dauert zwischen zehn und 80 Millisekunden. Mit diesem Zucken des Auges wird ein möglichst großer Teil des Blickfeldes an die Stelle des schärfsten Sehens im Zentrum des Augapfels gerückt und für kurze Zeit fixiert. ■

BLUTFLUSS

Das Blut macht etwa sechs bis acht Prozent des Körpergewichts eines Erwachsenen aus; er hat also fünf bis sechs Liter der roten Flüssigkeit in sich. Da das Herz in Ruhe rund fünf Liter pro Minute befördert, bei starker körperlicher Belastung sogar bis zu 25 Liter, wird das gesamte Blutvolumen in etwa 60 Sekunden durch den Körper gepumpt – bei höchster Aktivität sogar in etwa zwölf Sekunden. ■

Der Methusalem-Schwamm

Ein Tier, das bereits seit 10 000 Jahren lebt

Ein zwei Meter großer, in den 1970er Jahren am Meeresgrund vor der antarktischen Küste entdeckter Riesenschwamm ist das vermutlich langlebigste tierische Geschöpf. Forscher ver-



maßen das Lebewesen und kamen aufgrund seiner Wachstumsphasen zu dem Schluss, dass es mindestens 10 000 Jahre alt ist. Pflanzen können sogar

noch deutlich älter werden. Das Wurzelwerk der Amerikanischen Zitterpappel (*Populus tremuloides*) etwa schätzen Forscher auf ein Alter von rund 80 000 Jahren. ■

DER FILM IM KOPF

Jeder Mensch hat das Gefühl, in einem kontinuierlichen Strom der Zeit zu leben. Doch das ist eine Illusion. Wie Forscher herausgefunden haben, setzt das Bewusstsein unser Erleben aus winzigen zeitlosen Einheiten zusammen, konstruiert eine wenige Sekunden dauernde Gegenwart, manipuliert unsere Zeiteinschätzung in aufregenden Situationen – und datiert sogar Sinneseindrücke zurück

Text: Henning Engeln

Der Dirigent schließt die Augen, offenbar ganz in sich versunken, und spannt den nach vorn gebeugten Körper. Dann reißt er plötzlich die Arme mit dem Taktstock in der rechten Hand nach oben, bis hoch über den Kopf, und lässt sie anschließend wieder niedersausen. Einen Sekundenbruchteil später setzen die Orchestermusiker punktgenau ein und schmettern die vier ersten Noten von Beethovens Fünfter Symphonie in den Raum – jenes berühmte Anfangsmotiv, mit dem vermeintlich das Schicksal an die Pforte klopft.

Dass in diesem Moment kein Instrumentalist zu früh oder zu spät einsetzt, erscheint uns Laien bei einem professionellen Orchester als selbstverständlich – und ist doch im Grunde verblüffend. Mehr noch: Es ist aus hirnphysiologischer Sicht eigentlich unmöglich.

Denn um punktgenau einen Ton aus der Trompete pressen oder der Geige einen Klang entlocken zu können, muss das Gehirn des Musikers die motorischen Befehle längst an Lippen oder Hände geschickt haben, wenn der Taktstock das Signal zum Einsatz anzeigt. Allein um den visuellen Reiz, also die Armbewegung des Dirigenten, zu verarbeiten und darauf zu reagieren, braucht das Bewusstsein mindestens 150 Millisekunden. Daher muss das Gehirn die Geste des Orchesterleiters antizipieren, also vorauskalkulieren.

Doch nicht nur das: Weil die Laufzeit eines Signals – also die Dauer, die ein Nervenimpuls benötigt,

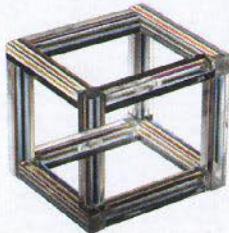
um vom Gehirn zu einem Muskel zu gelangen – umso größer wird, je länger der Nerv ist, müssen Befehle an Lippen, Hände oder Füße zu unterschiedlichen Zeiten abgeschickt werden. Dazu gibt es Areale im Gehirn, die diese Befehle so aufeinander abstimmen, dass das Timing stimmt, und sie dann an die *motorische Großhirnrinde* schicken. Von dort gelangen die Signale in der richtigen Reihenfolge an die ausführenden Organe. Denn nur wenn sie zum selben Zeitpunkt an den verschiedenen Muskeln eintreffen, können die Gliedmaßen synchron agieren. Ohne solche Vorgänge, die von den Musikern während ihrer Ausbildung lange geübt werden müssen, dann aber völlig unbewusst ablaufen, wäre es unmöglich, einen Orchestereinsatz auf wenige Millisekunden genau hinzubekommen.

Ein präzises Zeitempfinden aber ist unerlässlich zum Musizieren. Nicht nur, dass die Gliedmaßen aufs Genaueste und gut abgestimmt agieren müssen, um auf dem Instrument zum richtigen Zeitpunkt den gewünschten Klang hervorzuzaubern – und das womöglich mit 100 Mitspielern. Auch den Ohren wird das Höchste abverlangt, um winzige Zeitunterschiede wahrzunehmen und Töne in Höhe, Timbre oder Lautstärke zu differenzieren.

In Experimenten untersucht der US-Neurowissenschaftler David Eagleman, wie das Hirn die Zeit taktet. Dazu ließ er Probanden 30 Meter in die Tiefe stürzen, um zu ermitteln, ob und wie so sich die Zeitwahrnehmung in solchen Schrecksekunden verändert

Und die Augen sind angehalten, auf der Partitur Schritt für Schritt den Noten zu folgen.

Dass es Menschen überhaupt möglich ist, ein Instrument zu spielen, liegt daran, dass sie ein hoch entwickeltes Zeitgefühl besitzen. Doch woher und wozu hat der *Homo sapiens* diesen Sinn für das Timing?



Das Gehirn, so haben Forscher herausgefunden, fasst alle Ereignisse innerhalb eines Drei-Sekunden-Intervalls zu einem Erlebnis von „Gegenwart“ zusammen: So lange konzentriert es sich auf etwas, ehe es sich Neuem zuwendet. Dieser universelle Gegenwartstakt bewirkt, dass beispielsweise die Wahrnehmung des hier abgebildeten Würfels bei den meisten Menschen alle drei Sekunden wechselt: Mal haben sie den Eindruck, sie betrachten ihn von schräg oben, dann plötzlich ändert sich ihre Perspektive unwillkürlich, und sie blicken nun von schräg unten auf den Würfel

Alle Lebewesen, so viel ist klar, existieren in der Zeit und passen ihr Dasein an die Rhythmen der Natur an: Pflanzen müssen zur richtigen Jahreszeit blühen, Tiere sich dann fortpflanzen, wenn es genug Nahrung gibt (siehe Seite 52). Viele Tiere sind zudem auf ein Gedächtnis als Speicher für die vergangene Zeit angewiesen – etwa, um sich einzuprägen, wo Futter zu finden ist.

Vor allem aber mussten Tiere lernen, schnell zu reagieren: die Räuber, um ihre Beute zu greifen; die Geagten, um dem Jäger zu entkommen. Alle mussten zudem stets bereit sein, sich mit einem Wettbewerber zu messen. Und das trifft auch auf den Menschen zu.

Doch mit welchen Teilen seines Gehirns misst und bewahrt er die Zeit? Und vor allem: Wie kann er mit Sekundenbruchteilen, Minuten oder sogar den Abläufen ganzer Jahre im Kopf jonglieren, sie in die richtige Reihenfolge bringen und exakt abgestimmt reagieren?

Mit solchen Fragen befassen sich Hirnforscher seit mehr als 100 Jahren. Und sie haben Erstaunliches über das Zeitempfinden des Menschen herausgefunden. Etwa:

- Es gibt ein rund drei Sekunden langes Zeitfenster, das wir als „Gegenwart“ empfinden.
- Die Zeit wird vom Gehirn nicht kontinuierlich, sondern in kleinsten Paketen von 20 bis 40 Millisekunden Länge wahrgenommen, die wie Perlen auf einer Kette aneinander gereiht werden und so die Drei-Sekunden-Gegenwart erzeugen.

und Gedanken für einige Minuten fest, das Langzeitgedächtnis bewahrt sie über Stunden, Tage, Jahre auf.

- Das Zeitempfinden hat eine (erst teilweise bekannte) stoffliche Grundlage in den Nervenbahnen des Gehirns; es kann durch Drogen oder Hirnverletzungen drastisch beeinflusst werden und verändert sich mit zunehmendem Alter.

SCHON 1868 fiel dem deutschen Physiologen Karl von Vierordt etwas Eigenartiges auf: Er bat Versuchspersonen, die Dauer eines Signaltons zu bewerten und stellte fest, dass sie die zeitliche Periode regelmäßig unterschätzten, wenn der Ton länger als drei Sekunden andauerte. Ertönte das Signal dagegen weniger als drei Sekunden lang, fielen die Zeitschätzungen der Probanden zu lang aus.

Vierordt nannte dieses Drei-Sekunden-Intervall „Inifferenzpunkt“. Andere Forscher wiederholten das Experiment und erkannten: Bis heute hat sich dessen Dauer bei den Menschen nicht verändert. Der Drei-Sekunden-Takt offenbart sich auch bei anderen Versuchen. Innerhalb dieser Spanne können Probanden beispielsweise viel besser beurteilen, ob zwei Geräusche gleich laut, zwei Lichtblitze gleich hell sind.

Und zeigt man Menschen graphische Linien, die sich entweder als Vase oder aber als zwei einander zugewandte Gesichter interpretieren lassen, erfolgt der Umschwung des Bewusstseins ebenfalls im Abstand von etwa drei Sekunden.

Bei der Wahrnehmung von Worten ist es nicht anders. Spricht man etwa die Silbenfolge „bakubakubakubakubakubaku...“ eine Zeitlang vor sich hin, so wird sie mal nach der Stadt „Baku“ klingen oder aber nach der Insel „Kuba“ – ebenfalls alle drei Sekunden wechselnd.

Aus solchen Befunden ziehen Forscher einen erstaunlichen Schluss: Das Gehirn fasst alle Ereignisse innerhalb eines Drei-Sekunden-Intervalls zusammen – zu einem Erlebnis der Gegenwart. Der Münchener Hirnforscher Ernst Pöppel prägte dafür den Begriff der „subjektiven Gegenwart“: Es sei, als suche das Gehirn alle zwei bis drei Sekunden nach etwas Neuem.

Es scheint sich dabei um eine universelle, bei allen Menschen gleiche und nicht durch Erziehung oder Kultur zu beeinflussende Größe zu handeln. Es ist offenbar ein konstantes, rein biologisches Phänomen, etwas, das in der Struktur unseres Gehirns verankert ist.

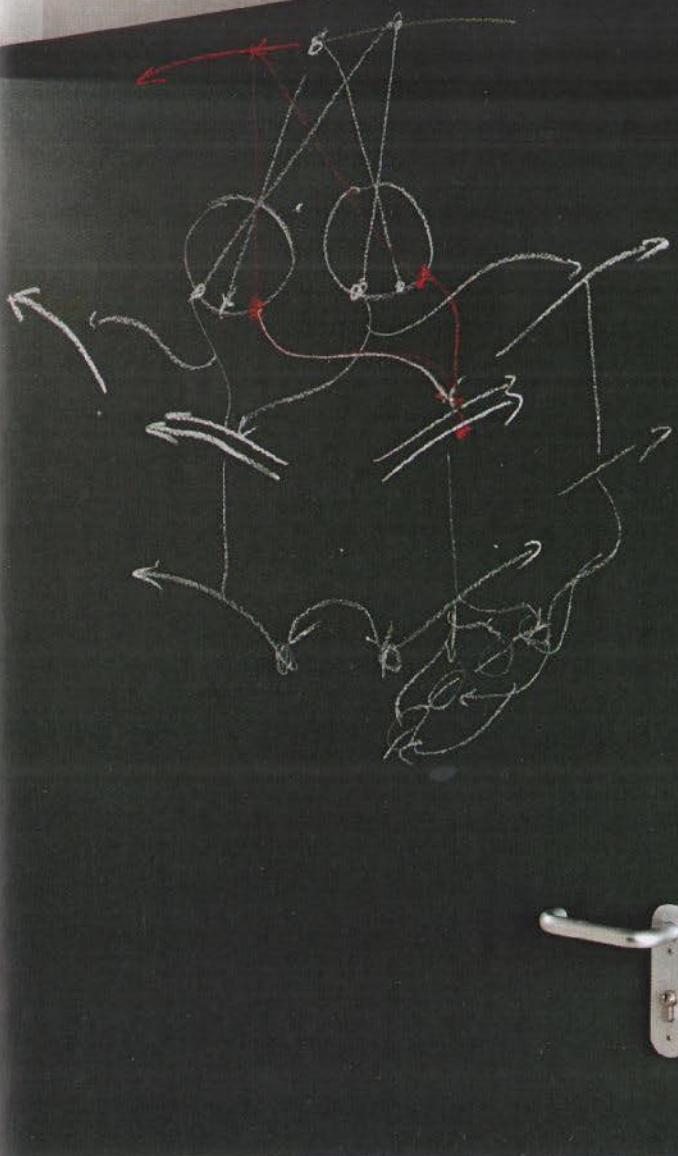
Zahlreiche Taktungen im Leben eines Menschen folgen diesem Drei-Sekunden-Rhythmus: Ein Händedruck zur Begrüßung dauert selten länger, Sprache wird in Äußerungseinheiten etwa gleicher Dauer unterteilt, die Zeile eines Gedichts entspricht oft diesem Maß.

Die drei Sekunden definieren also das „Hier und Jetzt“. Dieses zeitliche Fenster der Gegenwart setzt sich allerdings aus viel kleineren Zeitpaketen zusammen, die nur Sekundenbruchteile andauern, auch wenn wir

DIE GEGENWART DAUERT BEI ALLEN MENSCHEN ETWA DREI SEKUNDEN

Innerhalb eines solchen Zeitpaketes gibt es kein Vorher und Nachher, sondern alles geschieht gleichzeitig.

- Längere Zeitabschnitte als die Drei-Sekunden-Gegenwart überblickt das Bewusstsein mithilfe des Gedächtnisses. Das Kurzzeitgedächtnis hält Geschehnisse



subjektiv das Gefühl haben, die Zeit vergehe kontinuierlich – als sei sie ein stetiger Fluss, der die Ereignisse an unser Bewusstsein heranspült, sie vorbeitreiben und dann in der Vergangenheit verschwinden lässt.

In Wahrheit aber, so haben Forscher ermittelt, findet in unserem Kopf etwas ganz anderes statt. Es sind verblüffende und teils verwirrende Vorgänge, mit denen unser Gehirn aus den Informationen der Sinnesorgane jenes Konstrukt erschafft, das wir für die Realität und für einen gleichmäßigen Fluss von Zeit halten.

ERSTE HINWEISE darauf, dass unser Zeitempfinden nicht kontinuierlich funktioniert, gab die Erfindung der „Wundertrommeln“ in den 1830er Jahren. In diesen Geräten, quasi den Vorläufern des Films, waren auf der Innenseite einer drehbaren Trommel die Bilder einer Bewegungsfolge aufgeklebt, und jeweils eines von ihnen ließ sich durch Schlitze von außen betrachten. Rotierte die Trommel mit einer bestimmten Geschwindigkeit, begannen die anfangs einzeln aufflackernden Bilder

miteinander zu verschmelzen – zu einer Bewegung. Das Gehirn machte aus Einzelbildern, die für seine Taktung zu schnell waren, einen kontinuierlichen Prozess, einen Ablauf.

Den genau umgekehrten Effekt konnte der New Yorker Hirnforscher Oliver Sacks bei Migränepatienten beobachten: Während heftiger Kopfschmerzattacken, so berichteten manche Betroffene, kam ihnen plötzlich die zeitliche Kontinuität abhanden, und sie nahmen Bewegungen nur noch als schnelle Folge von nacheinander aufblitzenden Standfotos wahr.

Da auch bei epileptischen Anfällen und nach dem Genuss von halluzinogenen Substanzen wie LSD solche Effekte auftreten, begann sich Sacks zu fragen,

Hirnforscher wie Ernst Pöppel haben entschlüsselt, wie das menschliche Gehirn Zeit wahrnimmt: nicht als kontinuierlichen Strom, sondern in Abfolge kleinstter Einheiten, die jeweils 20 bis 40 Millisekunden dauern. Innerhalb eines solchen Zeitpaketes gibt es kein Vorher und Nachher. Erst ihre Abfolge definiert die Zeit für das Gehirn. Mehrere solcher Zeitpakte bündelt das Hirn dann zu einem Drei-Sekunden-Intervall, das die Menschen als Gegenwart, als »Hier und Jetzt« empfinden



Dass Drogen und Krankheiten unsere Zeitwahrnehmung beeinflussen, konnten Hirnforscher wie Oliver Sacks beobachten: Fieber, Erschöpfung und der Konsum etwa von Haschisch oder LSD beschleunigen den eigenen Zeittakt, sodass alles wie in Zeitlupe erscheint. Der Zeittakt von an Parkinson oder Schizophrenie Erkrankten sowie von Kokain-Konsumenten kann sich dagegen verlangsamen. Folge: Die Umgebung wirkt beschleunigt, alles um einen herum läuft wie im Zeitraffer ab

ob unsere visuelle Wahrnehmung nicht mit einem Film zu vergleichen ist und quasi aus kurzen Momentaufnahmen besteht, die dann vom Bewusstsein miteinander verschmolzen werden.

Tatsächlich haben die Untersuchungen anderer Hirnforscher diese Vermutung inzwischen bestätigt: Demnach nimmt das Gehirn einzelne Zeitpakete wahr, die etwa 20 bis 40 Millisekunden dauern und die wir als einen Moment, als Augenblick empfinden.

Für Ernst Pöppel sind solche Zeitpakete die „Bausteine des Bewusstseins“. Fallen zwei Ereignisse in ein Paket, werden sie als gleichzeitig empfunden, fallen sie in zwei aufeinanderfolgende Pakete, können wir sie als nacheinander geschehen identifizieren.

Verblüffenderweise vermag unser Gehirn aber auch Reize zu unterscheiden, die kürzer sind als ein solcher Augenblick. Zwei Töne etwa lassen sich noch im Abstand von zwei bis fünf Millisekunden differenzieren, denn das Gehör ist der Sinn mit der schnellsten neuronalen Verarbeitungsgeschwindigkeit. Allerdings können wir in einem solchen Fall nur angeben, dass wir in diesem Intervall zwei Töne wahrgenommen haben, nicht aber, welcher zuerst erklang.

Die Informationen anderer Sinnesorgane werden langsamer verarbeitet. Um etwa zwei Tastreize zu unterscheiden, benötigt das Gehirn zehn Millisekunden, bei optischen Reizen, etwa zwei Lichtblitzen, sind es sogar 20 bis 30 Millisekunden.

Doch für alle Wahrnehmungen gilt: Erst, wenn sie 30 Millisekunden auseinanderliegen, wenn sie in zwei unterschiedliche Zeitpakete fallen, können wir sie in eine zeitliche Reihenfolge bringen. Es ist die Abfolge solcher Zeitpakete (oder „Zeitquanten“), ihre Aneinanderreihung wie auf einer Perlenkette, die uns

OHNE ZEITPAKETE WÜRDE DAS GEHIRN IN EINEM CHAOS AUS REIZEN VERSINKEN

das Gefühl von Dauer verschafft und so das Erleben von Zeit ermöglicht.

Doch weshalb teilt das Gehirn die Zeit in Pakete auf? Wieso verarbeitet es die Reize nicht möglichst schnell – und zwar so, wie sie von den Sinnesorganen geliefert werden?

Auch auf diese Frage haben Forscher eine Antwort gefunden. Sie lautet: Andernfalls würde unser Bewusstsein im Chaos versinken.

Denn jedes Objekt in der Umgebung wird von uns in mehreren Komponenten wahrgenommen. Ein guter Bekannter etwa, mit dem wir uns unterhalten, erscheint in der visuellen Hirnrinde als ein Gesicht, aber zugleich verarbeitet unser Hörzentrum seine Worte, und wieder andere Hirnregionen registrieren die Hand, die uns berührt.

Da all diese Informationen unterschiedlich schnell umgesetzt werden, würden sie auch zu verschiedenen Zeitpunkten im Bewusstsein auftauchen. Die Folge wäre ein heilloses Durcheinander; wir könnten die verschiedenen Sinneseindrücke nicht eindeutig einem Objekt zuordnen.

Da aber Gesichtszüge, Stimme und Berührungsreiz durch die Hand innerhalb eines Zeitpaketes verstaut werden, kann unser Nervensystem ihnen quasi dieselbe Adresse aufkleben – und damit alle Eigenschaften derselben Person zuschreiben.

So ist die zeitliche Taktung unseres Gehirns, die Aneinanderreichung von Zeitpaketen, ein Trick, der die verschiedenen Sinneskanäle bündelt und uns den Eindruck eines kontinuierlichen Geschehens vorgaukelt.

Der Fluss der Zeit ist also nichts als eine Illusion des Gehirns, um zu verhindern, dass wir in der Flut der Eindrücke untergehen.

AUS DEN WINZIGEN Zeitquanten, den nur Millisekunden dauernden Augenblicken, setzt unser Bewusstsein das Erleben jener Drei-Sekunden-Gegenwart zusammen; wollen wir dagegen längere Zeiträume erfassen, muss es auf das Gedächtnis zurückgreifen.

Wie ein Computer, der Daten von seiner Festplatte in den Arbeitsspeicher lädt, ruft dann unser Arbeitsgedächtnis – der Sitz des Bewusstseins – alle möglichen Erlebnisse, Daten und Fakten ab: und zwar entweder aus dem Kurzzeitgedächtnis, das Inhalte für einige Minuten bewahrt, oder aus dem Langzeitgedächtnis, dem Speicher von Erinnerungen über Tage, Jahre und Jahrzehnte (siehe Kasten Seite 86).

Wie das Gehirn es schafft, die Erinnerungen zeitlich in eine richtige Reihenfolge zu bringen, sie quasi mit einem Datum zu versehen, ist noch nicht genau bekannt. Ebenso wenig wissen die Forscher, welche

Areale genau am Zeiterleben beteiligt sind. Zwar haben sie an Patienten mit Hirnverletzungen verschiedene Regionen finden können, deren Zerstörung das zeitliche Einordnen oder die Zeitempfindung beeinflussen. Doch gibt es offenbar keine einzelne zentrale Instanz im Kopf, die für das Zeiterleben zuständig ist.

Stattdessen scheint unser Zeitsinn in Form größerer, flexibler Netze aus Nervenzellen zu existieren, die sich über weite Bereiche des Hirns erstrecken.

Die Nervenzellen eines solchen Netzes, so vermuten die Forscher, feuern synchron (das heißt, sie geben zeitgleich elektrische Impulse ab) und in bestimmten Zyklen und bewirken so eine zeitliche Taktung im Gehirn. Die Hirnstromkurve (EEG), an der sich die Aktivität der Nervenzellen erkennen lässt, zeigt beim normalen, wachen Menschen Schwingungen in einer Frequenz von rund 25 Hertz (die einer Dauer von 40 Millisekunden entsprechen). Das passt gut zur Größe der Zeitpakte. Bei akustischen Reizen, die das Hirn besonders schnell verarbeitet, lassen sich Oszillationen im Bereich von 30 bis 60 Hertz nachweisen (das entspricht 17 bis 33 Millisekunden).

Unter Vollnarkose verschwinden diese Oszillationen – der Narkotisierte empfindet keine Zeit. Auch im Traum ist das Zeiterleben stark verändert, und beim Aufwachen, wenn die Neuronen noch nicht im Takt des wachen Hirns oszillieren, kann es geschehen, dass wir eine Traumsequenz als minutenlang erinnern, obwohl sie nur mal Sekundenbruchteile gedauert hat.

DOCH WOHER hat der Mensch überhaupt Hirnstrukturen, die Zeit messen können? Oliver Sacks vermutet, dass sich ein fließendes Bewusstsein – und damit die Zeitwahrnehmung – zuerst bei den Reptilien entwickelt hat, vor etwa 250 Millionen Jahren. Ein Frosch lebe in einer völlig anderen optischen Welt als wir. Der Lurch folge bewegten Objekten nicht mit den Augen und lasse keine aktive Aufmerksamkeit erkennen. Stattdessen sitzt er offenbar ohne Bewusstseinsstrom da, so Sacks, und nur wenn ein insektenähnliches Objekt in seinem Gesichtsfeld auftaucht, schnellt quasi automatisch die Zunge heraus.

Erst ein fließendes Bewusstsein – das der Frosch noch nicht hat – erlaubt es, Dinge und Situationen mit den Sinnesorganen wahrzunehmen, sie zu prüfen, im Gedächtnis abzuspeichern und wieder abzurufen. So kann ein Tier aus seinen Erfahrungen lernen und sein Verhalten anpassen: ein Vorteil im Überlebenskampf.



Diese Zeichenfigur erlaubt verschiedene Interpretationen: Mal sehen wir darin ein Häschchen mit weit aufragenden Ohren, mal einen Vogel, der den Schnabel hochstreckt. Auch hier wechselt das Gehirn die Sichtweise im Takt von etwa drei Sekunden

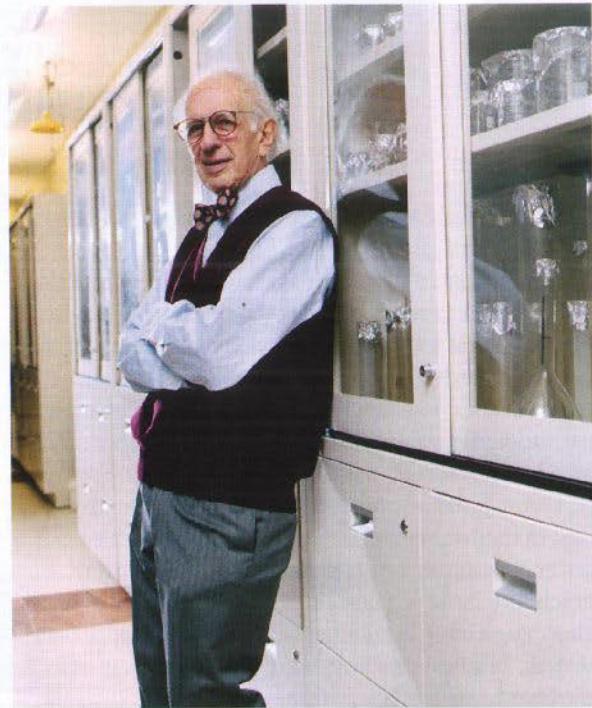
Manche Forscher vermuten, dass unsere Zeitwahrnehmung vor allem damit zusammenhängt, dass wir in einem dreidimensionalen Raum agieren. Denn für unsere äffischen Vorfahren dürfte es extrem wichtig gewesen sein, ihre Bewegungen zeitlich exakt abzustimmen – etwa beim Verfolgen von Beute. Noch heute kann unser Zeitgefühl über Leben und Tod entscheiden, wenn es zum Beispiel darum geht, die Geschwindigkeit eines herannahenden Autos richtig einzuschätzen.

Eine solche Situation im Straßenverkehr ist für einen gesunden Menschen kein Problem. Doch es gibt Fälle, in denen das Zeitempfinden stark verändert ist. Ein Mangel des neuronalen Botenstoffes Dopamin etwa kann den Zeitakt des Betroffenen verlangsamen – und dazu führen, dass er alles um sich herum wie im Zeitraffer erlebt.

Bei der gewöhnlichen Parkinson-Krankheit etwa, berichtet Oliver Sacks, erzeugt das Gehirn weniger als 15 Prozent des normalen Dopaminpegels, beim postenzephalitischen Parkinsonismus sogar überhaupt kein Dopamin mehr – mit der Folge, dass manche Patienten sogar erstarren können, und das über Jahrzehnte.

Den Erkrankten kommen ihre eigenen, verlangsamten Bewegungen dabei ganz natürlich vor; erst ein Blick auf die Uhr zeigt ihnen, dass die Zeit offenbar schneller vergeht. Sacks beobachtete einmal einen Patienten, dessen Arm sich im Verlauf mehrerer Stunden unendlich langsam hob: Er hatte sich die Nase geputzt – tausendmal langsamer als andere Menschen. Doch ihm selbst erschien die Geschwindigkeit normal.

Manche Formen von Schizophrenie sowie der Konsum von Kokain beschleunigen ebenfalls die subjektiv erlebte Zeit. Alles scheint für die Betroffenen schneller abzulaufen, weil ihr eigener innerer Takt vermindert



Wie das Gedächtnis

ist. Das Gegenteil – eine empfundene Zeitdehnung und Verlangsamung – wird dagegen durch Erschöpfungszustände oder Fieber ausgelöst, aber auch durch den Konsum von Drogen wie Haschisch und LSD.

Von äußerst gedehnter Zeit berichten auch Menschen in Extremsituationen, etwa bei Stürzen aus großer Höhe oder in Todesgefahr. Bei manchen Betroffenen scheint sich dabei das ganze Leben vor dem inneren Auge nochmals abzuspielen.

Ob dies tatsächlich der Fall ist, wollte der US-Neurowissenschaftler David Eagleman nachprüfen und dachte sich dazu ein Experiment aus. Eagleman ließ Versuchspersonen aus rund 30 Meter Höhe in ein Netz stürzen und gab ihnen dabei ein Display mit, auf dem Zahlen in so schneller Reihenfolge erschienen, dass sie beim normalen Arbeitstakt des Gehirns nicht zu entziffern waren.

Das Ergebnis: Obwohl die Probanden den Fall als erschreckend und dessen Dauer in die Länge gezogen erlebten, konnten sie die schnell auftauchenden Ziffern nach wie vor nicht lesen. Offenbar empfanden sie den Flug nur als länger, doch erhöhte sich die Taktung und Verarbeitungskapazität ihres Gehirns nicht.

Eaglemans Erklärung: Das Gehirn speichert die Erfahrung intensiver, weil es die aufregende, beängstigende Situation als lebensbedrohlich einstuft und es in solch einem Fall besonders wichtig ist, sich jedes Detail einzuprägen – um in einer erneuten, ähnlichen Gefahrensituation adäquat reagieren zu können. Da das

Memo: ZEITWAHRNEHMUNG

► **Für die menschlichen Vorfahren** war es im Lauf der Evolution überlebenswichtig, ein Zeitgefühl zu entwickeln: um sich beispielsweise im Geäst der Bäume bewegen zu können, Räuber zu entkommen oder Beute zu verfolgen. Und um aus Erfahrungen zu lernen.

► **Das kleinste Zeitpaket**, das das Gehirn wahrnehmen kann, ist 20 bis 40 Millisekunden lang. Ereignisse, etwa Lichtblitze, innerhalb dieser Zeitspanne werden als gleichzeitig empfunden, zwei Ereignisse, die weiter auseinanderliegen, als nacheinander.

► **Die Gegenwart** dauert für uns rund drei Sekunden an. Danach wendet sich das Gehirn etwas Neuem zu.

► **Längere Zeittabschnitte** überschaut das Gehirn mithilfe des Gedächtnisses: Das Kurzzeitgedächtnis bewahrt Inhalte über Minuten, das Langzeitgedächtnis zuweilen sogar ein Leben lang.

Ereignis also mit allen Einzelheiten abgespeichert wird, hat man aus der Erinnerung heraus das Gefühl, es habe länger angedauert – ein weiteres Beispiel dafür, wie subjektiv und schillernd jenes mentale Konstrukt ist, das wir Zeit nennen.

DOCH DAS GEHIN erzeugt noch verblüffendere Phänomene. In einem Experiment mussten Probanden ein Bildschirmspiel erlernen, bei dem sie ein Flugzeug mit der Computermaus um Hindernisse herumsteuern sollten. Konnten sie das schließlich, manipulierten die Forscher das Spiel heimlich so, dass die Flugzeugbewegung gegenüber der Mausbewegung um 0,2 Sekunden verzögert erfolgte. Nach einiger Zeit hatten sich die Probanden an die Situation gewöhnt und konnten den Flieger perfekt steuern.

Seltsames aber geschah, als die Forscher die Verzögerung wieder aufhoben: Dann hatten die Probanden den Eindruck, das Flugzeug bewege sich wie von Geisterhand – noch bevor sie es mit der Computermaus steuerten.

Das Bewusstsein hinkt hier offenbar der steuernden Hand hinterher: Die hat das Flugzeug bereits gelenkt, während die Probanden

DAS GEHIRN DATIERT REIZE UM 0,5 SEKUNDEN ZURÜCK

noch glauben, den steuernden Befehl zu geben. Bei vielen Bewegungsvorgängen sind die Impulse bereits im Gehirn unterwegs, während das Bewusstsein noch vermeint, sich zu entscheiden.

Dass das Gehirn uns auch in der alltäglichen Sinneswahrnehmung zeitlich täuscht, konnte der kalifornische Neurophysiologe Benjamin Libet schon vor vielen Jahren in Experimenten nachweisen. Libet untersuchte, in welchem Moment Versuchspersonen die Berührung etwa eines Fingers bewusst wird, und kam zu überraschenden Ergebnissen.

Wird die Haut eines Probanden berührt, vermeint er den Reiz fast sofort zu spüren (obwohl das Gehirn eigentlich eine halbe Sekunde braucht, um die eintreffenden sensorischen Signale zu verarbeiten). Die Empfindung einer Berührung lässt sich allerdings auch künstlich auslösen, wenn man die sensorischen Hirnareale – die für die Verarbeitung der Reize zuständig sind – direkt elektrisch reizt. Das Erstaunliche ist nur: In diesem Fall empfindet die Versuchsperson die Berührung erst eine halbe Sekunde später.

Noch seltsamer: Wenn eine Berührungsempfindung der einen Hand durch elektrische Reizung des Hirns ausgelöst wird und dann eine Viertelsekunde danach die Haut der anderen Hand berührt wird, spürt der Proband den mechanischen Hautkontakt zuerst – obwohl er später ausgelöst wurde. Das Bewusstsein, so die verblüffende Schlussfolgerung der Hirnforscher, scheint die sensorische Empfindung der Haut zurückzudatieren.

Offenbar ist Zeit nicht nur in der Physik relativ – sondern auch für das Gehirn. □

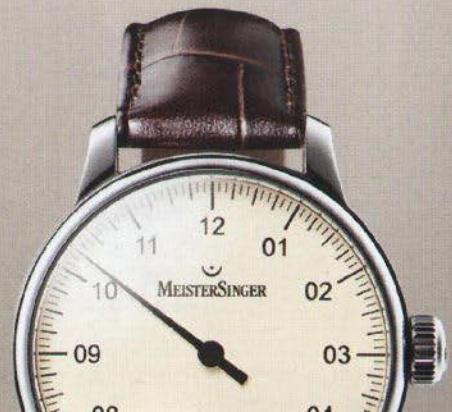
Der Biologe **Dr. Henning Engeln**, 57, GEOkompakt-Redakteur seit 2004, war erstaunt zu erfahren, dass unser Hirn Zeit in Portionen einteilt und dem Bewusstsein ein Kontinuum nur vorgaukelt.

MEISTERSINGER

WIR HABEN DIE SONNENUHR
VERBESSERT: SIE FUNKTIONIERT
JETZT AUCH IM SCHATTEN.

Einzeigeruhren
von MeisterSinger.
Die N° 01

Die Sonnenuhr hat – genau – einen Zeiger, dessen Schatten die Zeit anzeigt. Voraussetzung ist allerdings, wie der Name schon sagt, die Sonne. Da uns das Prinzip des Einzeigers und die damit einhergehende entspannte Art der Zeitwahrnehmung so gut gefallen haben, haben wir die Sonnenuhr quasi fürs Handgelenk gebaut. Ohne Sonnenabhängigkeit, versteht sich. Sie funktioniert jetzt auch im Schatten. www.meistersinger.de



6.18 Band X 5.39 am X 4.40 am X 6.18 Band X 2005
DECEMBER → 600 views X
→ ~~4.40 am~~ → 4.40 am X
decorations

22	Thursday	12.00a	Horse, Dairying
		12.00a	✓ Horse Fly
		4.58a	✓ Dst Act = Pasture
		5.00am	✗ Dst Act = Feeding down
		5.06a	✗ Dst Act = Feeding
		5.39a	✗ Dst Act = Feeding
		6.18a	6.18am X
		6.35a	6.35a X
		6.38am	6.38am X
		6.51a	✓ Dst Act = Dressing
		7.06a	✓ Dst Act = Groom Search
		7.08a	✗ Dst Act = Groom
		7.59a	✓ Dst Act = Piano Playing
		10.12a	✗ Dst Act = Search
		10.27a	✗ Dst Act = Search
		11.54a	✗ Dst Act = Groom
		12.59a	✗ Dst Act = Groom
		1.42pm	✗ Dst Act = Piano Playing
		4.29pm	✗ Dst Act = Groom
		6.28pm	✓ Dst Act = Search & Piano Start!
		7.25pm X	
		8.04pm X	
		8.58pm X	
		8.59pm X	
		9.08pm X	
		9.54pm X	
		10.00pm X	
		10.04pm X	
		10.14pm X	
		10.18pm X	
		10.22pm X	
		10.25pm X	
		10.28pm X	
		10.31pm X	
		10.34pm X	
		10.38pm X	
		10.41pm X	
		10.44pm X	
		10.47pm X	
		10.50pm X	
		10.53pm X	
		10.56pm X	
		10.59pm X	
		11.02pm X	
		11.05pm X	
		11.08pm X	
		11.11pm X	
		11.14pm X	
		11.17pm X	
		11.20pm X	
		11.23pm X	
		11.26pm X	
		11.29pm X	
		11.32pm X	
		11.35pm X	
		11.38pm X	
		11.41pm X	
		11.44pm X	
		11.47pm X	
		11.50pm X	
		11.53pm X	
		11.56pm X	
		11.59pm X	
		12.02pm X	
		12.05pm X	
		12.08pm X	
		12.11pm X	
		12.14pm X	
		12.17pm X	
		12.20pm X	
		12.23pm X	
		12.26pm X	
		12.29pm X	
		12.32pm X	
		12.35pm X	
		12.38pm X	
		12.41pm X	
		12.44pm X	
		12.47pm X	
		12.50pm X	
		12.53pm X	
		12.56pm X	
		12.59pm X	
		1.02am X	
		1.05am X	
		1.08am X	
		1.11am X	
		1.14am X	
		1.17am X	
		1.20am X	
		1.23am X	
		1.26am X	
		1.29am X	
		1.32am X	
		1.35am X	
		1.38am X	
		1.41am X	
		1.44am X	
		1.47am X	
		1.50am X	
		1.53am X	
		1.56am X	
		1.59am X	
		2.02am X	
		2.05am X	
		2.08am X	
		2.11am X	
		2.14am X	
		2.17am X	
		2.20am X	
		2.23am X	
		2.26am X	
		2.29am X	
		2.32am X	
		2.35am X	
		2.38am X	
		2.41am X	
		2.44am X	
		2.47am X	
		2.50am X	
		2.53am X	
		2.56am X	
		2.59am X	
		3.02am X	
		3.05am X	
		3.08am X	
		3.11am X	
		3.14am X	
		3.17am X	
		3.20am X	
		3.23am X	
		3.26am X	
		3.29am X	
		3.32am X	
		3.35am X	
		3.38am X	
		3.41am X	
		3.44am X	
		3.47am X	
		3.50am X	
		3.53am X	
		3.56am X	
		3.59am X	
		4.02am X	
		4.05am X	
		4.08am X	
		4.11am X	
		4.14am X	
		4.17am X	
		4.20am X	
		4.23am X	
		4.26am X	
		4.29am X	
		4.32am X	
		4.35am X	
		4.38am X	
		4.41am X	
		4.44am X	
		4.47am X	
		4.50am X	
		4.53am X	
		4.56am X	
		4.59am X	
		5.02am X	
		5.05am X	
		5.08am X	
		5.11am X	
		5.14am X	
		5.17am X	
		5.20am X	
		5.23am X	
		5.26am X	
		5.29am X	
		5.32am X	
		5.35am X	
		5.38am X	
		5.41am X	
		5.44am X	
		5.47am X	
		5.50am X	
		5.53am X	
		5.56am X	
		5.59am X	
		6.02am X	
		6.05am X	
		6.08am X	
		6.11am X	
		6.14am X	
		6.17am X	
		6.20am X	
		6.23am X	
		6.26am X	
		6.29am X	
		6.32am X	
		6.35am X	
		6.38am X	
		6.41am X	
		6.44am X	
		6.47am X	
		6.50am X	
		6.53am X	
		6.56am X	
		6.59am X	
		7.02am X	
		7.05am X	
		7.08am X	
		7.11am X	
		7.14am X	
		7.17am X	
		7.20am X	
		7.23am X	
		7.26am X	
		7.29am X	
		7.32am X	
		7.35am X	
		7.38am X	
		7.41am X	
		7.44am X	
		7.47am X	
		7.50am X	
		7.53am X	
		7.56am X	
		7.59am X	
		8.02am X	
		8.05am X	
		8.08am X	
		8.11am X	
		8.14am X	
		8.17am X	
		8.20am X	
		8.23am X	
		8.26am X	
		8.29am X	
		8.32am X	
		8.35am X	
		8.38am X	
		8.41am X	
		8.44am X	
		8.47am X	
		8.50am X	
		8.53am X	
		8.56am X	
		8.59am X	
		9.02am X	
		9.05am X	
		9.08am X	
		9.11am X	
		9.14am X	
		9.17am X	
		9.20am X	
		9.23am X	
		9.26am X	
		9.29am X	
		9.32am X	
		9.35am X	
		9.38am X	
		9.41am X	
		9.44am X	
		9.47am X	
		9.50am X	
		9.53am X	
		9.56am X	
		9.59am X	
		10.02am X	
		10.05am X	
		10.08am X	
		10.11am X	
		10.14am X	
		10.17am X	
		10.20am X	
		10.23am X	
		10.26am X	
		10.29am X	
		10.32am X	
		10.35am X	
		10.38am X	
		10.41am X	
		10.44am X	
		10.47am X	
		10.50am X	
		10.53am X	
		10.56am X	
		10.59am X	
		11.02am X	
		11.05am X	
		11.08am X	
		11.11am X	
		11.14am X	
		11.17am X	
		11.20am X	
		11.23am X	
		11.26am X	
		11.29am X	
		11.32am X	
		11.35am X	
		11.38am X	
		11.41am X	
		11.44am X	
		11.47am X	
		11.50am X	
		11.53am X	
		11.56am X	
		11.59am X	
		12.02am X	
		12.05am X	
		12.08am X	
		12.11am X	
		12.14am X	
		12.17am X	
		12.20am X	
		12.23am X	
		12.26am X	
		12.29am X	
		12.32am X	
		12.35am X	
		12.38am X	
		12.41am X	
		12.44am X	
		12.47am X	
		12.50am X	
		12.53am X	
		12.56am X	
		12.59am X	
		1.02am X	
		1.05am X	
		1.08am X	
		1.11am X	
		1.14am X	
		1.17am X	
		1.20am X	
		1.23am X	
		1.26am X	
		1.29am X	
		1.32am X	
		1.35am X	
		1.38am X	
		1.41am X	
		1.44am X	
		1.47am X	
		1.50am X	
		1.53am X	
		1.56am X	
		1.59am X	
		2.02am X	
		2.05am X	
		2.08am X	
		2.11am X	
		2.14am X	
		2.17am X	
		2.20am X	
		2.23am X	
		2.26am X	
		2.29am X	
		2.32am X	
		2.35am X	
		2.38am X	
		2.41am X	
		2.44am X	
		2.47am X	
		2.50am X	
		2.53am X	
		2.56am X	
		2.59am X	
		3.02am X	
		3.05am X	
		3.08am X	
		3.11am X	
		3.14am X	
		3.17am X	
		3.20am X	
		3.23am X	
		3.26am X	
		3.29am X	
		3.32am X	
		3.35am X	
		3.38am X	
		3.41am X	
		3.44am X	
		3.47am X	
		3.50am X	
		3.53am X	
		3.56am X	
		3.59am X	
		4.02am X	
		4.05am X	
		4.08am X	
		4.11am X	
		4.14am X	
		4.17am X	
		4.20am X	
		4.23am X	
		4.26am X	
		4.29am X	
		4.32am X	
		4.35am X	
		4.38am X	
		4.41am X	
		4.44am X	
		4.47am X	
		4.50am X	
		4.53am X	
		4.56am X	
		4.59am X	
		5.02am X	
		5.05am X	
		5.08am X	
		5.11am X	
		5.14am X	
		5.17am X	
		5.20am X	
		5.23am X	
		5.26am X	
		5.29am X	
		5.32am X	
		5.35am X	
		5.38am X	
		5.41am X	
		5.44am X	
		5.47am X	
		5.50am X	
		5.53am X	
		5.56am X	
		5.59am X	
		6.02am X	
		6.05am X	
		6.08am X	
		6.11am X	
		6.14am X	
		6.17am X	
		6.20am X	
		6.23am X	
		6.26am X	
		6.29am X	
		6.32am X	
		6.35am X	
		6.38am X	
		6.41am X	
		6.44am X	
		6.47am X	</td

Mon Tue Wed Thu Fri Sat Sun Mon Tue Wed Thu Fri Sat Sun Mon Tue Wed Thu Fri Sat Sun

Text: Jonathan Stock; Fotos: Jiri Rezac

Seit mehr als 25 Jahren leidet der Brite Clive Wearing unter einer besonders weitreichenden Form von

Gedächtnisverlust.
Im Verlauf einer
Viruserkrankung
entzündete sich
sein Gehirn, was
dazu führte.



Clive Wearing, 73, war Dirigent und Musikproduzent

dass große Teile massiv geschädigt wurden – und damit auch sein Gedächtnis. Seither kann sich Wearing schon nach wenigen Augenblicken nicht mehr daran erinnern, was eben gerade geschehen ist. Es ist, als begäne sein Leben alle paar Minuten von vorn

Jahrelang notiert Wearing akribisch jeden empfundenen Moment des Wachseins in sein Tagebuch

A

ls Clive Wearing aus der Zeit fällt, ist er 46 Jahre alt, BBC-Produzent für Alte Musik, Dirigent von drei Chören, Cambridge-Absolvent, ein Mann mit dem absoluten Gehör, der weiß, dass das Klavier seiner Kindheit einen Viertelton zu tief gestimmt war.

Doch plötzlich kann er weder den Namen seiner Frau buchstabieren, noch weiß er ihre Telefonnummer. Er streut Salz auf den Vanillepudding und Zucker auf die Kartoffeln. Er isst die Speisekarte, und gibt man ihm einen Rasierapparat, rasiert er sich das ganze Gesicht einschließlich der Augenbrauen. Aber das ist nicht das Merkwürdigste. Das Merkwürdigste ist sein Umgang mit der Zeit.

Denn Clive Wearing hat sich in einen Mann ohne Vergangenheit und Zukunft verwandelt. Gefangen in der Gegenwart, in einem sich ständig wandelnden Augenblick ohne Sinn.

Seine Frau Deborah vermutet später, dass der erste Angriff auf Clives Gehirn am 10. März 1985 geschah. An diesem Tag scheint er in einer Dämmerung zu stecken, die sie noch nie zuvor an ihm erlebt hatte. Es ist ein Sonntag in London. Ein Regen geht über der Stadt nieder.

Um 15 Uhr fragt Deborah ihren Mann: „Etwas dagegen, wenn ich das Fernsehgerät einschalte?“

Clive antwortet: „Einem Film oder irgendwas mit Handlung bin ich nicht

Arme und Beine sind verdreht, als sei er aus großer Höhe in die Tiefe gestürzt.

„Liebling!“, ruft sie, „Was tust du da?“

„Ich weiß nicht“, sagt er, „Ich muss eingeschlafen sein.“

„Leg dich doch ins Bett“, sagt sie. Er wirkt schlaftrig und verloren, findet Deborah. Sie bringt ihm seinen Schlafanzug. Er zittert.

In den nächsten Wochen hat Clive weiterhin Kopfschmerzen. Er hatte seit dem Jahr zuvor viel gearbeitet und oft Schmerzen. Doch diese sind anders. Mal fühlen sie sich an, als ob ihm jemand einen Schlag mit dem Hammer versetzt hätte, mal wie ein Eisenring rund um den Kopf, eng, konstant, schrecklich.

Seine Frau ruft den Ärztlichen Notdienst. Der Mediziner sagt am Telefon, es handele sich vermutlich um eine Grippe.

Etwa zwei Wochen später gehen sie zu einem Arzt. Der bittet den Patienten: „Sagen Sie ‚Neunundneunzig‘.“

Clive schweigt. Er lächelt. Es ist ein verlegenes Lächeln, als begreife er, dass er zu etwas aufgefordert wurde, aber nicht reagieren kann.

„Sagen Sie ‚Neunundneunzig‘“, wiederholt der Arzt. „Ja“, sagt Clive.

„Husten! Würden Sie bitte husten, Mr. Wearing?“ Clive schaut verdutzt, dann räuspert er sich leise.

„Was sind Sie von Beruf, Mr. Wearing?“ Clive starrt vor sich hin.

Der Arzt tippt auf Schlafmangel. Er gibt ihm ein starkes Betäubungsmittel.

anzug, unrasiert, die „Times“ auf dem Schoß.

Bei der Rückkehr erkennt er sein Haus nicht wieder. „Ach... wohnen wir hier?“, fragt er. Der Arzt meint, er habe sich ein besonders unangenehmes Grippevirus eingefangen, mit einer Reizung des Gehirns.

Am nächsten Morgen verliert Clive zusehends das Bewusstsein, sein Fieber ist gestiegen, sein Arm ist schlaff. Kurz darauf wird er ins St. Mary's Hospital eingeliefert.

Am Abend weiß Deborah, was wirklich geschehen ist. Ein Herpes-Simplex-1-Virus hat eine Entzündung verursacht. Bei dieser Enzephalitis schwoll das Hirn an, stößt gegen den Schädelknochen, der nicht dehnbar ist. Daraufhin schwinden die ersten Zellen, um Platz zu schaffen. Irgendwann kann sich das Virus sogar zum Stammhirn durchfressen. Ohne Therapie sterben 80 Prozent der Erkrankten.

Fast jeder Mensch trägt das Virus irgendwann in sich, in Deutschland etwa 85 Prozent aller Erwachsenen zwischen 25 und 64 Jahren. Bei den meisten ruft es keine schweren Symptome hervor, höchstens Fieberbläschen an der Lippe. Doch ist jemand einmal mit Herpes infiziert, breitet sich das Virus über die Mundschleimhaut aus und versteckt sich nicht im Blut, sondern in Nervenenden, ein Leben lang. In seltenen Fällen kann es, bei schlechter Abwehrlage, am Riechnerv entlangwandern, der direkt

Als sein Sohn ihn begrüßt, sagt er: »Mach dich nicht lächerlich. **Du bist nicht mein Sohn**«

gewachsen.“ Und dann sagt er: „Ich habe Kopfschmerzen.“

Deborah holt ihm eine Tablette und stellt die Sportsendung leiser. Das Bügeleisen zischt, dann hört sie noch ein anderes Geräusch. Hinter ihr liegt Clive auf dem Wäschehaufen. Die Augen geschlossen, den Mund geöffnet, den Kopf seltsam zurückgelegt. Seine Füße berühren kaum den Boden. Seine

Tabletten würden Clive für acht Stunden umhauen, meint er. Seine Frau könne ruhig zur Arbeit fahren. Sie tut es.

Als sie abends wiederkommt, ist ihr Mann verschwunden. Nur sein Pyjama liegt zusammengeknüllt auf dem leeren Laken. Dafür sind die Brieftasche und der Nadelstreifenanzug nicht mehr da. Dann klingelt das Telefon. Clive sitzt auf der Wache im Nadelstreifen-

von der Riebschleimhaut in das Zentralnervensystem führt. So durchbricht es die Blut-Hirn-Schranke, die das Zentralnervensystem vor im Körper zirkulierenden Krankheitserregern schützt.

EINEM VON EINER MILLION Menschen stößt dies zu, sagen die Ärzte zu Deborah. Clive Wearing ist der Eine. Die Aufnahmen des Computertomo-

graphen zeigen die Löcher in Clives Kopf, wie Flecken auf alten Landkarten. Weitere Untersuchungen ergeben: Die Löcher sind so groß, dass sie das Aussehen seiner Schläfenlappen dadurch verändern. Es gibt ein Medikament, um die Ausbreitung des Virus zu stoppen, ein neues Präparat, erst kurz auf dem Markt. Es rettet Clives Leben.

Aber nicht sein Gedächtnis.

Ein paar Jahre früher, und er wäre wohl an der Gehirnentzündung gestorben. Ein paar Jahre später, und seine Krankheit wäre vielleicht rechtzeitig

gedächtnis. Ohne Hippocampus lassen sich keine neuen Erinnerungen formen. Bei Clive Wearing sind dort jetzt nicht viel mehr als Narben zu sehen.

Fast alle seine früheren Erlebnisse sind ausgelöscht. Der Brite kann sich noch daran erinnern, dass seine Familie während des Zweiten Weltkrieges im Luftschutzbunker Patienten gelegt hat, um von den Bomben abzulenken. Er kennt seine Abiturfächer noch und weiß, dass er mit einem Chorstipendium nach Cambridge kam. Danach verschwimmt alles. Er kennt Churchill,

aber nicht John F. Kennedy, er kennt Mozart, aber nicht John Lennon, weiß nicht, wie groß seine Kinder sind oder wie viele er hat. Jeder Mensch, den er nicht von früher kennt, bleibt ein Fremder. Und selbst alte Verwandte sind Fremde, denn er glaubt ihnen nicht, stellt sie sich viel jünger vor.

Als sein Sohn aus erster Ehe ihn mit „Hallo, Dad“ begrüßt, antwortet er: „Mach dich nicht lächerlich. Du bist nicht mein Sohn.“

Auch sein Kurzzeitgedächtnis ist zerstört. Tausendmal kann er etwas sehen, und doch ist es stets das erste Mal. Sobald eine kurze Gedächtnisspanne nach einigen Sekunden oder Minuten abgelaufen ist, beginnt seine Wahrnehmung von Neuem. Was davor geschah, bleibt gelöscht. Jedes Mal erwacht er aufs Neue, immer wieder explodiert die Gegenwart.

Einen Fall wie diesen haben die Ärzte noch nie gesehen. Neurologen sagen, es sei einer der schwersten dokumentierten Amnesiefälle der Welt. Anfangs hofft die Familie, dass gesunde Teile seines Gehirns die Funktion der toten Regionen irgendwann übernehmen, doch das geschieht nicht.

Wenn man Clive Wearing fragt, wie es ihm geht, kann er wütend werden: Er weiß nicht, wie es ihm geht, er kann sich weder die Zukunft vorstellen noch an die Vergangenheit erinnern. Er weiß auch nicht, wer ihm diese Frage stellt. Der Lärm in der Küche der Krankenstation macht ihn rasend. Um ihren Mann zu entspannen, nimmt Deborah ihn mit in die Kapelle des Hospitals. Dort liegen ein paar Noten. Sie fängt an zu singen. Und Clive, der Schwierigkeiten hat, einen vollständigen Satz zu bilden, übernimmt plötzlich mit seiner Tenorstimme, singt einen Takt mit. Am Tag darauf setzt sich der Dirigent, der seit Jahrzehnten Orgel spielt, an die Kapellenorgel. Er wechselt Register, tritt mit den Füßen auf die Pedale, spielt beidhändig.

Offenbar ist sein Kleinhirn von der Infektion nicht beeinträchtigt – dort hat das prozedurale Gedächtnis, der Speicher für Fertigkeiten, sein Zentrum. Anders als sein episodisches



Clive Wearing kann immer noch Klavier spielen. Denn sein Kleinhirn, in dem motorische Fertigkeiten gespeichert sind, wurde nicht verletzt

mit dem neuen Medikament behandelt worden. So bleibt Clive Wearing ein extrem seltener Fall. Ein Mann mit einem zerfressenen Gedächtnis.

In vielen Bereichen der Hirnrinde, des Kortex, hat er Schäden davongetragen. Er hat Verletzungen an den Seiten, hinten, an der oberen Rückseite und in den Stirnlappen des Gehirns. Und vor allem am wichtigen *Hippocampus*. In dieser zentralen Schaltstelle für Gedächtnis und Erinnerung fließen Eindrücke zusammen und werden an den Kortex weitergeleitet (siehe Seite 80). Dabei übertragen Nervenzellen Informationen vom Kurzzeit- in das Langzeit-



Immer wieder fragt Wearing seine Frau Deborah, wie lange er schon erkrankt ist – und wirkt in solchen Momenten auf sie wie jemand, der gerade aus tiefer Bewusstlosigkeit erwacht ist



Wenn Clive Wearing die Stimme seiner Frau hört, stürzt er ihr jedes Mal entgegen und schließt sie so leidenschaftlich in die Arme, als sei sie lange weg gewesen

Gedächtnis funktioniert das prozedurale noch.

So kann er Klavier und Orgel spielen, singen, sogar improvisieren oder einen Chor dirigieren, obwohl er keine bewusste Erinnerung an seine musische Ausbildung hat. Alles, was eine Folge von Handlungen abverlangt, ein be-

stimmtes Muster, gelingt ihm. Deshalb kann er bügeln, telefonieren und Kaffee kochen, auch wenn er nicht erklären kann, wie er es macht.

Anfang Juni 1985 fragt Clive Wearing seine Frau, wie lange er bereits krank ist. Wie jemand, der aus tiefer Bewusstlosigkeit erwacht, will er wissen,

wie lange die Bewusstlosigkeit angedauert hat. „Neun Wochen“, antwortet sie.

„Neun Wochen?“ Er schüttelt den Kopf. „Ich habe nichts gehört, nichts gesehen, nichts berührt, nichts gerochen. Was denkst du, wie es ist, tot zu sein?“

„Ich weiß nicht, Liebling.“

„Nein, niemand weiß es. Ich habe nichts gehört, nichts gesehen, nichts berührt, nichts gerochen. Es ist einfach so, als wäre man tot. Wie ist es, wenn man tot ist? Antwort: Niemand weiß es. Ich habe nichts gehört, nichts gesehen, nichts gefühlt, nichts gerochen, nichts berührt. Es war wie eine einzige lange Nacht, und die dauert jetzt schon ... wie lange?“

Aus neun Wochen werden neun Monate, schließlich neun Jahre. Aus neun Jahren 26. Die ersten sieben verbringt er im Krankenhaus, meist auf einer Station für chronische Psychiatriepatienten. Dort besteht nicht die Gefahr, dass er wegläuft oder sich verletzen könnte. Deborah weint, Clive ist doch nicht geisteskrank, nur sein Gedächtnis funktioniert nicht richtig.

Doch es gibt in Großbritannien keine Einrichtung für Patienten wie ihn. Die Angestellten schließen den seltsamen Patienten in ihr Herz. Als er nach Jahren zum letzten Mal aus der Tür geht, sagt er: „Sie sind die ersten Menschen, die ich zu Gesicht bekomme!“ Von Fremden umgeben, befindet er sich jeden Tag an einem fremden Ort.

SCHON NACH kurzer Zeit hat Deborah ihrem Mann ein Tagebuch gegeben. Sie hofft, dass er damit vielleicht Kontinuität herstellen kann. Und tatsächlich, am Sonntag, dem 7. Juli 1985 (14 Wochen nachdem er aus der Zeit gefallen ist), schreibt er – vielleicht, um einen Halt zu finden, einen Ansatzpunkt, wie ein Gefangener, der Striche auf die Zellenwand macht – seine erste spontane Eintragung: „Heute: 1. Bewusstwerdung ... Das erste Mal bei Bewusstsein.“

Das Tagebuch liegt auf seinem Tisch, er schaut oft darauf.

Eine „Chronologie des Nichts“ nennt es seine Frau und schreibt: „Er erwacht, er notiert den ungeheuren Vorgang,

wieder zum Leben zu erwachen. Der Akt, einen Satz niederzuschreiben, schafft Schwung, jedes Wort trägt ihn zum nächsten – aber der Akt, den Kugelschreiber zu heben und sich umzublicken, löscht die Wörter aus dem Gedächtnis. Er schaut nach unten und liest die Behauptung, wach zu sein, offenkundig in seiner Handschrift, und er hält einen Kugelschreiber in seiner Hand. Er sieht eine ganze Seite solcher unrichtiger Einträge. Zurückblätternd findet er Tage, Wochen und Monate mit identischen Bekundungen eines neuen Erwachens, die meisten durchgestrichen. Sein Finger auf der letzten Seite der Eintragungen zeigt ihm das Datum des Tages an, aber er kann sich nicht erinnern, eine einzige Eintragung

ersten Mal, erster Gedanke: Bitte komm Liebling!, 19.19 Uhr, wirklich wach zum ersten Mal, erster Gedanke: Bitte komm Liebling!, 19.21 Uhr, total wach, erster Gedanke: Bitte komm, Liebling!, 19.30 Uhr, völlig wach, erster Gedanke: Bitte komm, D – mit der Geschwindigkeit des Lichts.“

Er kann sich nicht mehr an die Hochzeit erinnern, nicht an die Zeit des Kennenlernens, auch nicht an den vollen Namen seiner Frau. Doch wenn sie am Telefon spricht, erkennt er ihre Stimme, er erkennt auch ihren Geruch, die Berührung ihrer Hand und ihr Atem sind ihm vertraut. Der einzige Satz, an den er sich kurz nach dem Ausbruch seiner Krankheit im unstabilisierten Zustand erinnern konnte, war: „Ich liebe dich.“

weil sie für ihn immer Fremde bleiben werden.

Oft geht er spazieren. Den Zeitungen und dem Fernsehprogramm kann er nicht folgen. In seinem Zimmer stehen ein Klavier und ein Sofa, das er zur Hochzeit geschenkt bekommen hat. Er schreibt noch immer Tagebuch, seine Handschrift ist nun ruhiger geworden.

Und noch immer, nach all den Jahren, sagt Clive Wearing zu Deborah: „Komm in der Morgendämmerung her, eile herbei mit der Geschwindigkeit des Lichts.“ Und eines Morgens, schreibt sie, kommt sie wirklich in der Morgendämmerung an, zur besten aller Tageszeiten. Sie fährt durch fast leere Straßen und hofft anzukommen, wenn er aufwacht. Aber als man ihr die Eingangstür öffnet, steht

Er erinnert sich nicht an den **Namen seiner Frau** – und weiß dennoch, wie sehr er sie liebt

gemacht zu haben. Ein Blick auf seine Uhr zeigt ihm eine Zeit nur zwei Minuten nach der zuletzt notierten, aber jetzt erlebt er das wahre Erwachen, jetzt ist er zum ersten Mal wirklich wach.“

Also korrigiert Clive den Eintrag: „15.34 Uhr, JETZT zum ersten Mal über die Maßen wach.“

Vielleicht ist es ein Glück, dass die Zeit und seine Aufmerksamkeit nicht ausreichen, um die volle Tragik seines Lebens zu erkennen. Bevor er das Puzzle zusammensetzen kann, hat er schon die einzelnen Teile vergessen.

Akribisch führt Clive sein Tagebuch. Wie Forschungsnotizen, jeder Eintrag unter dem vorigen, die Zahlen links, die Wörter rechts, oft alle zwei bis drei Minuten eine neue Notiz. Die Blätter sind bedeckt mit den Aus- und Unterstreichungen. Immer fester drückt er mit dem Kugelschreiber auf, um die neue Zeit hervorzuheben und die alte durchzustreichen, bis die Seiten in jeder Zeile durchgedrückt sind.

Die meisten Einträge, die nicht sein Wachwerden beschreiben, richten sich an Deborah: „19.04 Uhr, wach zum

Wenn er sie hört, stürzt er zur Tür, ihr entgegen, schließt sie leidenschaftlich, verzweifelt in die Arme, als wäre es das erste Mal nach vielen Jahren. In ihrer Nähe fühlt er sich sicher. „Wir sind nicht zwei, sondern eins. Du bist die *raison d'être* meines Herzschlags, Liebling“, sagt er, „Ich liebe dich in alle Ewigkeit.“

Aber wie kann es sein, dass er sie erkennt, wo er doch ihre gemeinsame Zeit vergessen hat und seinen eigenen Sohn nicht mehr erkennt?

Oliver Sacks, vielleicht der berühmteste Neurologe der Welt, meint, dass dies nur sein kann, weil sich seine Liebe in Regionen seines Gehirns eingegraben hat, die das Virus nicht auslöschen konnte, in rätselhafte, tief verwurzelte und von Wissenschaftlern am wenigsten verstandene Bereiche.

26 Jahre sind seit Clives Erkrankung vergangen, und für ihn hat sich nichts verändert. Er lebt nicht mehr im Krankenhaus, sondern in einer kleinen, betreuten Wohngemeinschaft auf dem Land. Dort wissen sie, dass sie ihn nach Jahrzehnten noch mit „Mr. Wearing“ anreden müssen und nicht mit „Clive“,

Clive schon da, bereits wach, und Deborah ist die erste Person, die er zu Gesicht bekommt, und er drückt sie an sich und singt ein hohes G und tanzt mit ihr in den Gemeinschaftsraum.

„Meine Augen haben sich gerade geöffnet“, sagt er, „zum ersten Mal sehe ich alles normal.“

„Und ich bin hier!“, sagt sie.

Sie gehen spazieren, und beim Abschied sagt sie: „Vergiss nicht, dass ich dich liebe.“

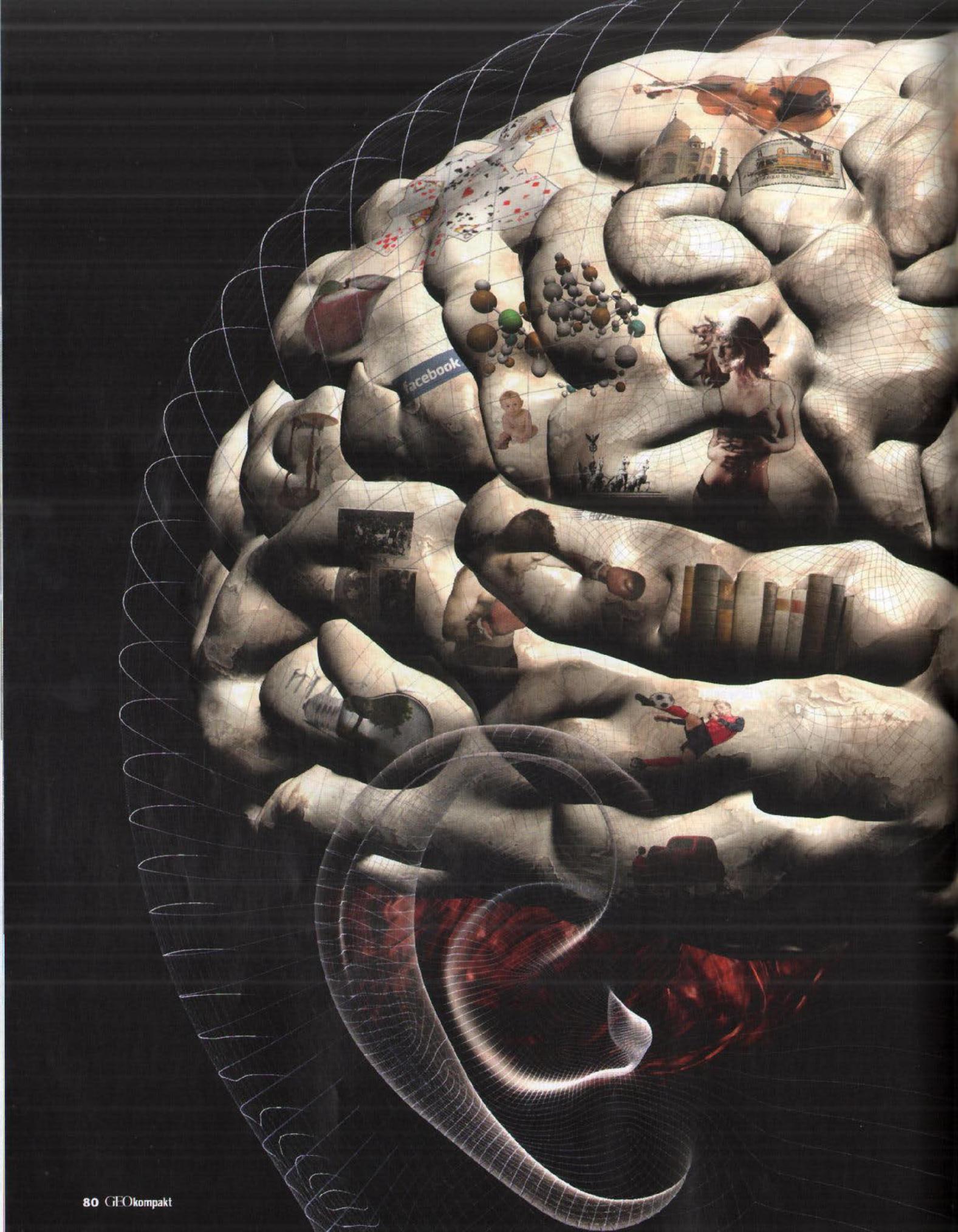
„Ich kann dich keinen einzigen Augenblick vergessen“, sagt er.

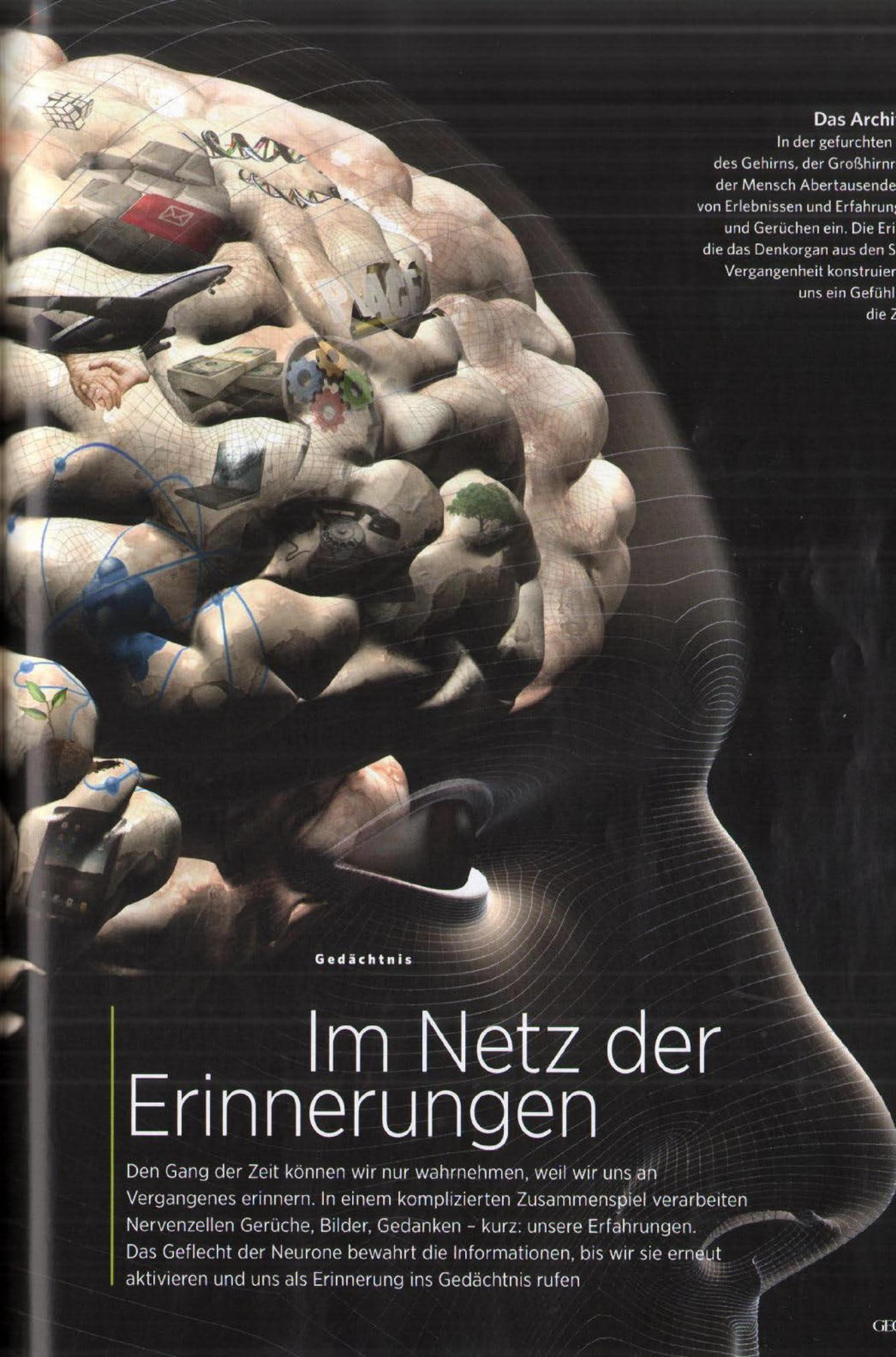
Sie fährt nach Hause durch die Nacht, und als sie Stunden später ankommt, ruft sie an. Sie möchte ihm sagen, dass sie gut heimgekehrt ist. Aber er hat bereits vergessen, dass sie bei ihm war.

„Wann kommst du?“, fragt er. „Komm bitte her mit der Geschwindigkeit des Lichts!“

„Ich bin gerade eben von dir nach Hause gekommen“, sagt sie.

„Oh wirklich? Na, dann komm in der Morgendämmerung...“ □





Das Archiv im Kopf

In der gefurchten Oberfläche des Gehirns, der Großhirnrinde, lagert der Mensch Abertausende Fragmente von Erlebnissen und Erfahrungen, Lauten und Gerüchen ein. Die Erinnerungen, die das Denkorgan aus den Splittern der Vergangenheit konstruiert, verleihen uns ein Gefühl dafür, dass die Zeit vergeht

Gedächtnis

Im Netz der Erinnerungen

Den Gang der Zeit können wir nur wahrnehmen, weil wir uns an Vergangenes erinnern. In einem komplizierten Zusammenspiel verarbeiten Nervenzellen Gerüche, Bilder, Gedanken – kurz: unsere Erfahrungen. Das Geflecht der Neurone bewahrt die Informationen, bis wir sie erneut aktivieren und uns als Erinnerung ins Gedächtnis rufen



Das Geflecht der Neurone

Dauerhafte Erinnerungen werden überall im Gehirn als Fragmente gespeichert. Bruchstücke der Vergangenheit formen dabei spezifische Netzwerke von Nervenzellen, die sich durch lange Fortsätze verbinden

Eine flüchtige Begegnung. Dieses Gesicht, kennen wir es nicht? Wo haben wir diesen Menschen schon einmal gesehen? Und wie war sein Name? Fieberhaft arbeitet unser Gedächtnis, und plötzlich kommt uns ein Weihnachtspäckchen in den Sinn. Weihnachtspäckchen? Natürlich – dieser Mann vor uns ist der Postbote! Nur sind wir es nicht gewohnt, ihn ohne Dienstkleidung anzutreffen.

Prompt spult unser Gedächtnis die Szene vom vergangenen Dienstag ab, als wir mit dem Herrn zuletzt ein kleines Schwätzchen hielten. Es ging um das Wetter, und während wir redeten, kam der Nachbar mit einem grünen Regenschirm vorbei. Aber wie heißt er nun, der Briefträger? Irgendetwas mit O... Ober... ach ja, Obermann.

Eine alltägliche, scheinbar banale Szene. Doch sie offenbart die komplexe Fähigkeit des Gehirns, gespeicherte Informationen abzurufen und miteinander in Beziehung zu setzen.

Unser Gedächtnis ist ein schier unvorstellbarer Wust von Fakten und Episoden, Bildern, Lauten und Gerüchen, die allesamt im Netz der Nervenzellen in unserem Hirn hängen bleiben: Erlebnisse unseres ersten Schultags, die Geheimzahl der EC-Karte, Fernsehbilder vom einstürzenden World Trade Center, die Gesichtszüge des Postboten. Dennoch gelingt es dem Gehirn – zwar

Das Hirn ist kein ordentlicher Archivar: Es sortiert chaotisch – und doch effizient

nicht immer, doch sehr oft –, aus dieser Sintflut an Erinnerungen die richtigen Informationen herauszufischen.

Dabei arbeitet es nicht so systematisch wie ein Archivar, der anhand seines Katalogs ermittelt, in welchem Regal die gesuchte Akte steht.

Unser Gedächtnis funktioniert dynamischer, chaotischer, zufälliger, aber in mancher Hinsicht auch effizienter. Und oft weiß das Gehirn dabei mehr, als uns bewusst ist. Wie bei der Begegnung mit dem Postboten kann es beispielsweise das Gesicht eines kurz ins Blickfeld geratenen, aber noch nicht bewusst identifizierten Menschen mit einem passenden Bild verknüpfen und uns so auf die richtige Gedächtnisspur bringen.

Manchmal spielt es längst vergessen geglaubte Ereignisse vor unserem inneren Auge sogar unvermittelt ab wie einen Film.

Aber wie und in welcher Form speichert das Gehirn Erinnerungen eigentlich ab? Wie übersetzt sich ein Gespräch mit dem Postboten bei Regenwetter in die Sprache der Hirnzellen?

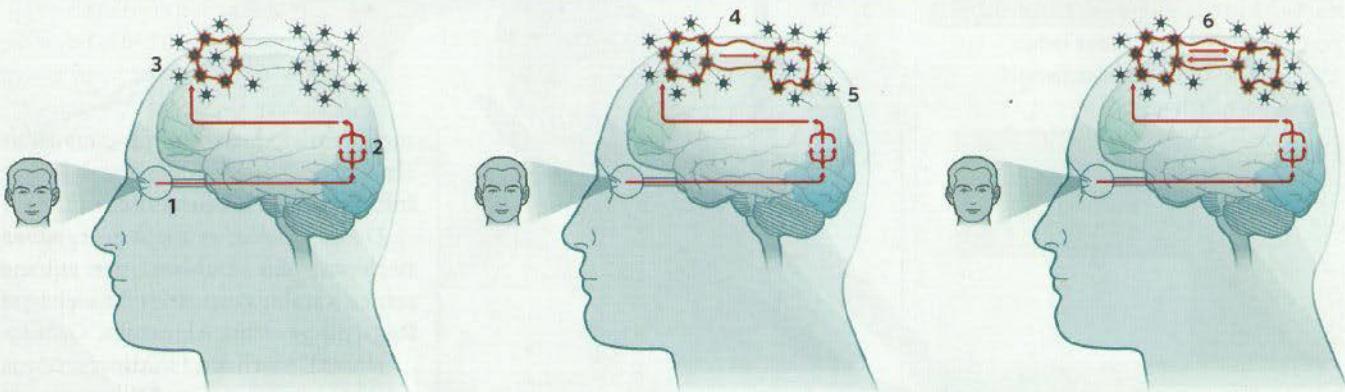
DASS WISSENSCHAFTLER diese Fragen heute in Grundzügen beantworten können, verdanken sie vor allem einem Mann, der dafür einen hohen Preis bezahlte: Henry Gustav Molaison, meist nur unter seinen Initialen als Patient H. M. bekannt.

Seit seiner Kindheit hatte Molaison unter so heftigen epileptischen Anfällen gelitten, dass er 1953 in ein medizinisches Experiment einwilligte: Der damals 27-jährige Amerikaner ließ sich jene Teile seines Gehirns entfernen, in denen die Krämpfe ihren Ausgang nahmen.

Ein Chirurg schnitt auf beiden Seiten ein etwa fünf Zentimeter großes Stück des Schläfenlappens weg. So büßte Molaison auch den Großteil einer Hirnstruktur ein, die wegen ihrer gewun-

Wie das Gedächtnis funktioniert

Wenn wir zum ersten Mal einer fremden Person begegnen, nehmen unsere Augen deren Äußeres wahr. Dabei werden viele Nervenzellen im Gehirn gemeinsam als Netz aktiv – eine Erinnerung entsteht. Forscher unterscheiden in diesem Prozess vier verschiedene Phasen



Erkennen

Begegnen wir einem Menschen, so nehmen wir mit den Augen dessen Gesichtszüge wahr (1). Die Sehrinde (2) verarbeitet die Reize und leitet sie an Neurone im Frontallappen (3) weiter. Dort liegt das Kurzzeitgedächtnis, in dem die Informationen zwischengelagert werden.

Speichern

Die Nervenzellen im Frontallappen regen weitere in der Großhirnrinde an (4). Durch die zunehmende Aktivität bildet sich zwischen einigen Neuronen eine dauerhafte Verbindung aus. Dieser „Schaltkreis“ (5) speichert das Gesehene, es kann nun immer wieder abgerufen werden.

Wiedererkennen

Sehen wir das Gesicht erneut, vergleicht das Gehirn die neuen Reizmuster im Frontallappen mit dem gespeicherten „Schaltkreis“ (6). Denn der Zellverbund ist nun für diese Reize sensibilisiert. Die Folge: Wir erkennen die Person wieder, und das fragile Nervennetz verfestigt sich.

denen Form als *Hippocampus* (lat.: „Seepferdchen“) bekannt ist.

Die Operation verlief erfolgreich, die Krampfanfälle wurden schwächer und ließen sich nun mit Medikamenten unter Kontrolle bringen. Doch zeigte der Eingriff zur Überraschung der Ärzte eine dramatische Nebenwirkung: Molaison hatte sein Gedächtnis verloren.

Solche Amnesien sind nicht selten. Oft treten sie bei Verunglückten oder nach Schlaganfällen auf. Hier aber bot sich die Gelegenheit, einen Menschen mit genau bekanntem Hirnfehler zu untersuchen und so herauszufinden, welche Bedeutung die entfernten Organteile für das Gedächtnis haben.

Die junge Psychologin Brenda Milner, Mitarbeiterin eines berühmten Neurochirurgen im kanadischen Montreal, begann den Patienten H. M. systematisch zu untersuchen – und blieb ihm ihr ganzes Forscherleben lang bis zu Molaisons Tod im Jahr 2008 treu.

Dennoch musste sich Brenda Milner bei jedem Besuch neu vorstellen. Selbst wenn sie nur kurz den Raum verließ, war es bei ihrer Rückkehr, als hätte Molaison sie nie zuvor gesehen.

Schnell fand Brenda Milner heraus, dass der Patient durchaus noch über gewisse Merkfähigkeiten verfügte. Sollte er sich etwa an eine Zahlenfolge erinnern, gelang ihm das so lange, bis er abgelenkt wurde. Sein Kurzzeitgedächtnis war also intakt. Darunter versteht man eine Art Arbeitsspeicher, der durchschnittlich sieben Informationseinheiten aufnehmen kann und sie über einen Zeitraum von maximal einigen Minuten parathält. Die meisten Menschen sind deshalb in der Lage, sich kurzfristig eine unbekannte, siebenstellige Telefonnummer zu merken, nicht aber eine mit zwölf Ziffern.

Wie der Fall H. M. zeigt, beruht das Kurzzeitgedächtnis ganz offensichtlich auf verschiedenen Vorgängen und spielt sich auch in ganz anderen Gehirnregionen ab als das Langzeitgedächtnis, das Informationen über Tage, Jahre und oft auch ein Leben lang aufbewahrt.

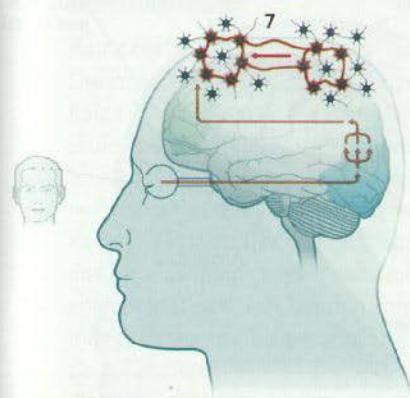
Doch auch solche weiter zurückliegenden Erinnerungen waren Molaison nicht völlig abhanden gekommen: Ereignisse aus der Zeit vor der Operation konnte er sich problemlos vergegenwärtigen. Zum Beispiel wusste er vom

Börsencrash 1929 zu berichten. Nur was in den Tagen vor dem Eingriff geschehen war, hatte sich weitgehend im Nebel des Vergessens verloren. Und nun schien auch nichts Neues mehr in sein Langzeitgedächtnis vorzudringen.

Wirklich nicht? Das versuchte Brenda Milner im nächsten Schritt herauszufinden. Dazu ließ sie Molaison einen komplizierten Bewegungsablauf trainieren: Er sollte einen fünfzackigen Stern nachzeichnen, konnte seine Hand mitsamt der Figur aber nur im Spiegel sehen. Auch Menschen ohne Hirnschaden üben gewöhnlich eine längere Weile, bis sie diese Aufgabe bewältigen – so, wie man auch Sambatanzen oder Klavierspielen einstudieren muss.

Nach ein paar Tagen Training zeichnete Molaison auf Anhieb einen perfekten Stern im Spiegel. Sein Gehirn hatte etwas Neues gelernt und folglich auch etwas gespeichert, nämlich Informationen über den richtigen Bewegungsablauf – allerdings konnte er sich nicht daran erinnern, den Trick jemals geübt zu haben.

Auf diese Weise offenbarte der Fall H. M., dass es nicht *ein* Gedächtnis gibt,



Erinnern

Sind die Gesichtszüge fest im Gehirn verankert, können wir sie immer wieder in unser Bewusstsein rufen – selbst wenn die Person nicht anwesend ist. Dabei sendet das Nervennetz die gespeicherten Informationen an den Frontallappen (7): Eine plastische Erinnerung entsteht.

sondern *mehrere*, die unabhängig voneinander funktionieren.

Lernen wir motorische Fähigkeiten wie Tanzen oder Autofahren, speichert unser *prozedurales Gedächtnis* die entsprechenden Handlungsanweisungen ab (siehe Seite 89). Es ist ausschließlich für Bewegungsabläufe zuständig.

Beherrscht man diese „Prozeduren“ einmal, spult das Gehirn sie automatisch ab. Kein geübter Pianist macht sich beim Spielen noch bewusst, welchen Finger er wann bewegen muss. Da diese Form des Gedächtnisses bei Molaison erhalten war, ist sie ganz offensichtlich nicht an den Hippocampus gebunden.

Anders verhält es sich mit den beiden weiteren Erinnerungsspeichern:

- dem *episodischen Gedächtnis*, das eigene Erlebnisse, also Episoden aus dem Leben, abspeichert;

- und dem *semantischen Gedächtnis*, das für Wortbedeutungen zuständig ist, Namen, Daten, Fakten archiviert (Semantik = Lehre der Wortbedeutungen).

Die Inhalte dieser beiden Gedächtnisformen erinnern wir bewusst. Ohne Hippocampus aber kommen sie nicht zustande, wie der Fall H. M. erwies.

Im Schlaf, so vermuten Forscher, filtert das Gehirn unsere Erinnerungen, bevor es sie ins Langzeitarchiv überträgt

Da der Patient länger zurückliegende Ereignisse jedoch zu erinnern vermochte, kann die seepferdchenförmige Hirnstruktur selbst nicht der endgültige Speicher sein. Vielmehr schloss Brenda Milner aus ihren Beobachtungen, dass Erlebnisse und Erfahrungen im Hippocampus zwischengespeichert und erst nach Tagen oder Wochen ins Langzeitgedächtnis übertragen werden. Deshalb hatte Molaison auch die letzten Tage vor der Operation vergessen.

Heute vermuten Forscher, dass weite Teile der Großhirnrinde als Langzeitarchiv dienen und dass die Informationen dauerhaft dorthin verlagert werden, während der Mensch schläft.

NACHDEM DIE Biologen den Hippocampus als eine Schlüsselstruktur des Erinnerns ausgemacht hatten, standen

sie vor der Frage, in welcher Form gespeicherte Informationen im Gehirn vorliegen. Dieses Rätsel ließ sich aber schlecht am Menschen studieren.

Deshalb wandten sich die Forscher einem Weichtier mit sehr primitivem Gehirn zu: dem Seehasen Aplysia.

Dieses Tier, eine Meeresschnecke, besitzt keinen Hippocampus (diese Hirnstruktur, die offenbar nur für komplexere Erinnerungen nötig ist, haben erst Wirbeltiere entwickelt) sowie insgesamt gerade einmal 20 000 Nervenzellen. Doch die halten den Größenrekord im Tierreich: Einige Neurone messen bis zu einem Millimeter im Durchmesser und eignen sich daher ideal zum Experimentieren.

Schon dieses simple Weichtier ist fähig zu lernen. So pflegt Aplysia ihre Kiemen einzuziehen, wenn man sie berührt. Im Detail erfolgt die Reaktion so: Sinneszellen registrieren den Kontakt und geben diese Information in Form einer elektrischen Erregung weiter an Nervenzellen, die für die Steuerung des Körpers zuständig sind. Die senden dann ihre Impulse an Muskelzellen, die sich kontrahieren und die Kiemen zusammenschnurren lassen.

Es handelt sich zwar nur um einen einfachen Reflex, doch kann die Schnecke ihr Verhalten aufgrund von Erfahrungen anpassen. Traktiert man sie etwa ein einziges Mal mit einem elektrischen Schlag, wird sie eine Weile lang besonders heftig zurückzucken, auch wenn man sie anschließend nur einfach berührt. Wird das Weichtier mehrmals hintereinander der üblichen Erfahrung ausgesetzt, hält die Erinnerung an den Elektroschock einige Minuten an – aber auch Tage oder sogar Wochen.

Aplysia besitzt also ein Kurzzeit- wie auch ein Langzeitgedächtnis und prägt sich Dinge, die ihr mehrfach widerfahren, dauerhaft ein.

Wie der US-Neurowissenschaftler Eric Kandel (der dafür im Jahr 2000 den Nobelpreis erhielt) herausfand, sind die beiden Gedächtnisformen an unterschiedliche Vorgänge in der Zelle gekoppelt. Bei der Kurzzeitspeicherung erhöht sich vorübergehend die Effektivität, mit der die beteiligten Neurone

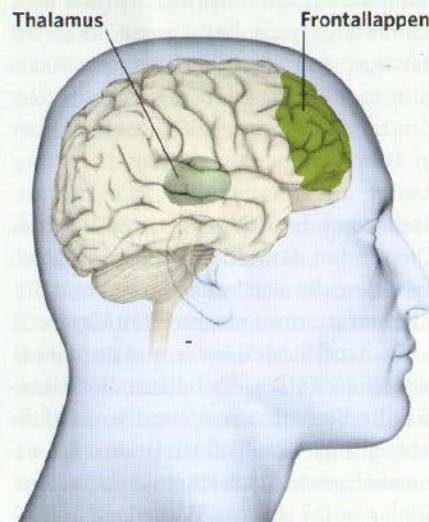
Der Weg zur dauerhaften Erinnerung

Besonders eindrückliche Momente verankern sich tief in unserer Hirnstruktur – und sind oft noch am Lebensende abrufbar. Vor allem Emotionen sorgen dafür, dass ein Ereignis lange erhalten bleibt. Andere Inhalte benötigen Jahre, um sich dauerhaft einzuprägen

0,2 Sekunden

Erkennen

Reize, die unsere Aufmerksamkeit erreichen, haben am ehesten eine Chance, im Gedächtnis gespeichert zu werden, etwa der Anblick eines geliebten Menschen. Die Sinnesorgane nehmen die Informationen auf. Über ein Areal in der Hirnmitte, den Thalamus, gelangen sie ins Kurzzeitgedächtnis. Das filtert die wichtigsten Signale heraus. Der Frontallappen im Stirnbereich unterdrückt währenddessen störende Reize.



0,25 Sekunden

Emotionen

Löst ein Ereignis, etwa ein Kuss, starke Gefühle aus, verankert es sich eher im Gedächtnis. Die damit verbundenen emotionalen Reize – Gesehenes, Gehörtes, Bewegungen – zirkulieren zwischen verschiedenen Gebieten im Gehirn, die dabei synchron aktiviert werden. Ein wichtiger Teil dieses Kreislaufs ist die

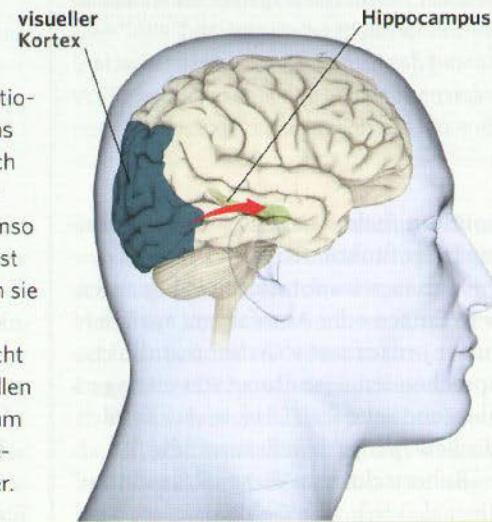
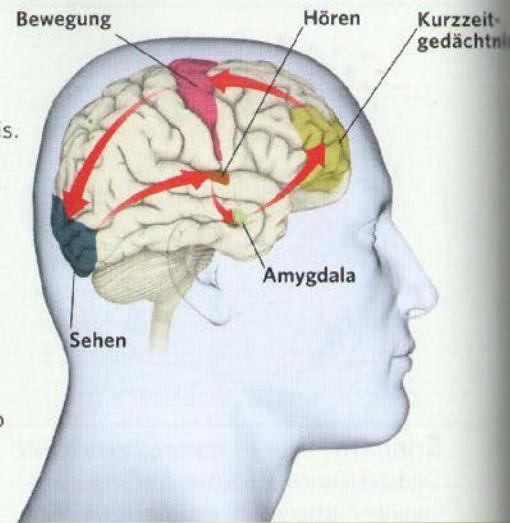
Amygdala. Sie reagiert in Sekundenbruchteilen und leitet Signale an andere Areale weiter. So reagieren wir oft, noch ehe uns bewusst wird, was geschieht.

0,2-0,5 Sekunden

Empfindung

Erst einige Millisekunden nach der emotionalen Reaktion der Amygdala werden uns Empfindungen auch bewusst. Je sinnlicher diese sind, umso wahrscheinlicher ist es, dass wir uns an sie erinnern. Am besten merken wir uns visuelle Reize: Sie gelangen besonders leicht von ihrem Verarbeitungsort, dem visuellen Kortex, zum Hippocampus – dem Tor zum Gedächtnis. Die Rekonstruktion von Geschmack oder Geruch fällt uns schwerer.

0,25 Sekunden



ihre elektrischen Botschaften weiterleiten. Es ist, als würde der elektrische Funken leichter von einer Nervenzelle zur nächsten überspringen.

Biochemisch geschieht dabei Folgendes: Ist Aplysia durch den Elektroschock sensibilisiert, wird die Signalübertragung zwischen ihren Sinneszellen und den Neuronen, die ihre Rückzugsbewegung steuern, verstärkt. Maßgeblich daran beteiligt ist ein zellinterner Botenstoff namens cAMP, der wie eine Art Schmiermittel für die Reizweiterleitung wirkt. Doch diese Veränderung hält nicht lange vor. Binnen Minuten sinkt der cAMP-Spiegel wieder. Die Anatomie der Zellen aber ist unverän-

dert geblieben. Das ändert sich erst, wenn die Schnecke nach vier oder fünf Elektroschocks ernsthaft alarmiert ist. Nun findet die beunruhigende Erfahrung Eingang ins Langzeitgedächtnis, und zwar so: Die Maschinerie der Zelle läuft an, neue Eiweißstoffe werden hergestellt, Gene angeschaltet und Synapsen – die Kontaktstellen zwischen Nervenzellen – umgebaut. Mitunter sprühen ganz neue Verbindungen. Die Verdrahtung der Neurone verändert sich bleibend.

Und damit ist die Erfahrung im Langzeitgedächtnis gespeichert.

Der grundlegende Unterschied zwischen den Speicherformen liegt also

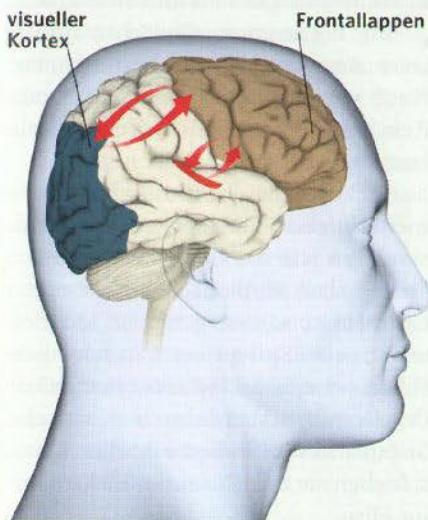
darin: Beim Kurzzeitgedächtnis werden Kontakte zwischen Nervenzellen nur vorübergehend erleichtert, der „Funken“ springt dann eine Zeitlang schneller über. Beim Langzeitgedächtnis werden dagegen Nervenzellen neu verdrahtet. Der elektrische Funke springt nun dauerhaft leichter von einer zur anderen über, die Erinnerung ist gefestigt.

Und so wie die primitiven Nervenklumpen des Seehasen arbeiten im Prinzip auch unser Hirn, wenn wir uns Tanzschritte, Vokabeln oder die Gesichtszüge des Briefträgers einprägen. „Die zellulären und molekularen Strategien, die Aplysia für ihr Kurz- und Langzeitgedächtnis nutzt, sind auf dem Weg

0,5 Sekunden

Kurzzeitgedächtnis

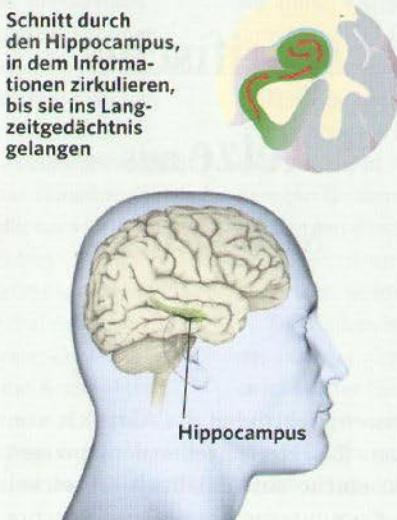
Die erste Station im Speicherprozess der Reize ist das Kurzzeitgedächtnis. Dabei „kursieren“ die Informationen zwischen jenem Hirnareal, in dem die Sinnesreize verarbeitet werden, etwa dem visuellen Kortex, und dem Frontallappen, der sie uns bewusst macht. Erst nach einiger Zeit entscheidet sich, was mit den aufgenommenen Reizen weiter geschehen soll: ob sie verworfen oder ins Langzeitgedächtnis aufgenommen werden.



10 Minuten-2 Jahre

Auswahl

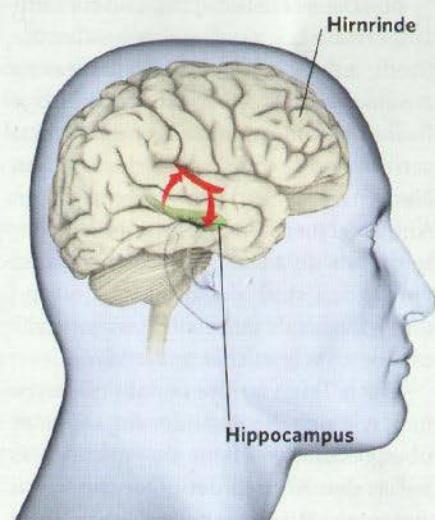
Fachwissen zirkuliert meist mehrfach durch die Hirnwindungen, bis wir uns ein Leben lang daran erinnern können. Situationen wie ein besonderes Ereignis im Urlaub müssen wir dagegen häufig nur einmal erleben, um sie uns noch Jahre später ins Gedächtnis rufen zu können. Welche Informationen ins Langzeitgedächtnis kommen, entscheidet vor allem der Hippocampus. Diese Struktur wählt wie ein Pförtner aus, welche Erlebnisse in den weiteren Prozess der Archivierung aufgenommen werden.



> 2 Jahre

Archivierung

Bis Informationen langfristig in unserem Gedächtnis verankert sind, können Jahre vergehen. Dabei werden sie zwischen Hippocampus und Hirnrinde immer wieder synchron aktiviert, auf denselben neuronalen Pfaden – und verfestigen sich so in der Struktur des Gehirns. Dabei aber kann unser Denkorgan die Erinnerungen auch verfälschen, vermag Neues hinzuzufügen und oder einzelne Aspekte auszulöschen. Erinnerungen ähneln daher einer Geschichte, die immer wieder etwas anders erzählt wird.



von Mollusken zu Säugetieren gleichgeblieben“, sagt Eric Kandel, „und sie kommen sowohl beim bewussten als auch beim unbewussten Erinnern zum Einsatz.“

Allerdings sind die Vorgänge beim Menschen sehr viel komplexer und zum großen Teil an den Hippocampus gebunden. Vermutlich arbeitet diese Hirnstruktur wie eine ordnende Instanz, die – wohl vor allem im Schlaf – Erinnerungen redigiert, filtert oder mit einer emotionalen Komponente verknüpft, bevor sie ins Langzeitgedächtnis geschrieben werden.

Wie das im Detail geschieht, wissen Forscher noch nicht. Sie verstehen

**Eindringliche
Momente wie der
erste Kuss
graben sich
tief in unser
Gedächtnis ein**

jedoch recht gut, weshalb sich vor allem emotionale Erlebnisse tiefer ins Gedächtnis graben: Sind Ereignisse mit heftigen Gefühlen verbunden, schüttet das Gehirn vermehrt Nervenbotenstoffe wie Serotonin und Dopamin aus. Diese Substanzen sorgen dafür, dass sich Schaltstellen zwischen Nervenzellen festigen und mehr solcher Verbindungen entstehen. Tritt zu einem späteren Zeitpunkt eine vergleichbare Situation ein, wird das Erlebte schnell wieder ins Bewusstsein gerufen.

UNGEKLÄRT ABER blieb lange Zeit vor allem eine Frage: Wie entsteht in unserem Hirn aus den elektrischen

Funken einer Gruppe von Nervenzellen ein inneres Bild, etwa das Gesicht des Postboten? Wie können die Signale in unserem Gehirn so eindringliche Momente wie den ersten Kuss oder die Euphorie nach der Geburt eines Kindes erneut lebendig werden lassen?

Diesmal waren es Mäuse, die Hirnforscher auf die richtige Fährte brachten. Dem US-Neurobiologen Joe Tsien gelang es 1999, mittels Gentechnik Mäuse zu züchten, die sich durch ein besonders gutes Gedächtnis auszeichneten. Nach einer schlauen TV-Figur taufte Tsien seinen Mäusestamm „Doogie“. Alles, was diese Nager von Artgenossen unterschied, war ein Molekül namens NMDA, dass in ihren Hirnen besonders häufig vorkam.

NMDA ist ein Rezeptor, also ein Empfängerprotein, an das sich bestimmte Stoffe anlagern und eine Veränderung auslösen können. Es spielt eine wichtige Rolle bei jenen Umbauten der Synapsen – also den Verbindungen zwischen Nervenzellen im Hirn –, die mit dem Aufbau dauerhafter Erinnerungen einhergehen. Je mehr dieser Rezeptoren vorhanden sind, desto leichter erfolgt die Neuverdrahtung eines Nervennetzes und desto schneller lernt die Maus.

Doch Tsien wollte vor allem verstehen, wie sich die Veränderung auf einer übergeordneten Ebene auswirkt: Was lief in den Köpfen der „Doogies“ nun anders ab? Wie legten die Tiere in ihren Hirnen Erinnerungen ab? Was hatten kleine Umbauten an einzelnen Synapsen mit dem großen Ganzen, dem Aufblitzen einer Erinnerung, zu tun?

Tsien suchte also nichts weniger als den Code, mit dem das Gehirn Gedächtnisinhalte verschlüsselt.

Dazu setzte er seine Versuchsmäuse Schrecklebnissen aus, die sich tief in ihr Gedächtnis eingraben sollten. Mal schüttelte er die in einer Kiste eingespererten Tiere, mal ließ er sie darin wie in einem defekten Fahrstuhl in die Tiefe rauschen. Dann wieder blies er ihnen überraschend einen Luftstoß in den Nacken, um das Herabstürzen eines Raubvogels zu simulieren.

Sowohl während der Schrecksekunden als auch danach zeichnete Tsien mit

Für Erinnerungen im Langzeit- gedächtnis entwickelt das Hirn spezifische Netze aus Nervenzellen

feinsten Elektroden die Aktivität von jeweils 260 Nervenzellen der winzigen Mäusehirne auf. Ein hoch entwickeltes Computerprogramm untersuchte anschließend das elektrische Signalgewitter der Neurone auf typische Muster für die jeweiligen Angstsituationen.

Die Software verdaute ungeheure Datenmengen – und wurde fündig: Schon nach kurzer Zeit konnte Joe Tsien allein anhand der Messergebnisse erkennen, ob eine seiner Mäuse gerade an den Luftstoß oder den Fahrstuhlabsturz dachte. Jedes Erlebnis war an ein charakteristisches Aktivitätsmuster im Gehirn gekoppelt.

Und: Dieses Muster trat sowohl dann auf, wenn die Maus die Prozedur über sich ergehen lassen musste, als auch später, wenn sie sich offenbar an die Schrecksekunde erinnerte.

Als Tsien die Aktivitätsmuster genauer analysierte, zeigte sich, dass be-

stimmte Neuronengruppen auf bestimmte Aspekte reagierten. Manche dieser Cluster von Nervenzellen feuerten nur, wenn die Maus den festen Boden unter den Füßen verlor. Andere sprangen an, wenn sich das Geschehen in einer Kiste abspielte, wieder andere wurden bei jedem Schreck aktiv.

Durch immer neue Kombinationen solcher spezialisierten Zellverbände, so vermutet Tsien, kann das Gehirn eine Vielzahl verschiedener Erfahrungen verschlüsseln und speichern.

Stimmt Joe Tsien's These, dann wäre dieser Code aber deutlich mehr als nur eine Gedächtnissstütze: Es würde sich vielmehr um die universelle Sprache des Denkorgans handeln – jene Sprache, in der das Hirn wahrnimmt und denkt, Erlebnisse abspeichert und erinnert.

Ein bestimmter Gedächtnisinhalt wäre demnach identisch mit einem Netz von Neuronen, die auf einen Reiz hin gleichzeitig elektrische Signale austauschen.

Auch in diesem Fall scheint das menschliche Gehirn genauso zu funktionieren wie das tierische. Denn Forscher haben ähnliche Beobachtungen beim *Homo sapiens* gemacht. Möglich war dies bei Epileptikern: In schweren Fällen versuchen Mediziner manchmal, den Krankheitsherd durch elektrische Stimulation aufzufinden. Dazu schieben sie den Patienten Elektroden ins Hirn.

An solchen Patienten untersuchte der kalifornische Neurochirurg Itzhak Fried, wie Menschen Gesichter und Objekte erkennen. Und seine Ergebnisse muten einigermaßen kurios an: Er stieß bei seinen Probanden beispielsweise auf Hirnzellen, die konsequent feuerten, wenn Fotos von Bill Clinton oder Cartoons der Comicfamilie „The Simpsons“ gezeigt wurden. Eine größere Neuronengruppe fühlte sich für die Oper von Sydney zuständig, schwieg aber, wenn der Eiffelturm in Sicht geriet.

Bei einem Mann feuerte eine einzelne Hirnzelle ausschließlich dann, wenn ihr Besitzer Bilder der attraktiven dunkelhäutigen Schauspielerin Halle Berry betrachtete. Dabei spielte es keine Rolle, ob die Aktrice im Filmkostüm der

Die Architektur der Archive

Forscher unterscheiden heute eine Vielzahl von Systemen in unserem Gehirn, in denen die Vergangenheit verarbeitet, archiviert und wieder abgerufen wird

Es gibt in unserem Gehirn nicht einen zentralen Speicher für das Archivieren von Informationen, sondern etliche Regionen, in denen Erinnerungen festgehalten werden. So ist der Urlaub in Ägypten an anderer Stelle aufbewahrt als die Fähigkeit zu tauchen, die wir dort erworben haben. Und das funktioniert so:

- Das **Kurzzeitgedächtnis** hält Daten für Sekunden bis Minuten fest. Vor allem der präfrontale Kortex im Stirnbereich speichert diese Inhalte. Hier werden sie mit Emotionen verknüpft, denn diese Region ist auch für unsere Persönlichkeit verantwortlich.

- Um ins **Langzeitgedächtnis** zu gelangen, müssen die Informationen sozusagen gelernt und dem Gehirn immer wieder präsentiert werden. Auf die Weise entstehen neue Verbindungen zwischen den Nervenbahnen, die sich im Laufe der Zeit stabilisieren. Gedächtnisinhalte wandern dann, ähnlich wie auf einem Laufband, immer wieder auf diesen gleichen Wegen, bis sie nach Tagen oder Monaten langfristig, sogar für ein ganzes Leben gefestigt bleiben. Doch gibt es Ausnahmen: Vor allem an emotional prägende Situationen, etwa aus der Kindheit, erinnern wir uns auch dann, wenn wir sie nur ein einziges Mal erlebt haben.

Einen spezifischen Speicherort gibt es für das Langzeitgedächtnis in der Regel nicht. Es ist so umfangreich, dass seine Inhalte in Nervenzellen und Verbindungen unterschiedlicher Hirnbereiche in der gesamten Großhirnrinde aufbewahrt werden.

Doch je nachdem, welche Art von Information ins Langzeitgedächtnis übergeht, unterscheidet man vor allem drei Arten von Speichern: semantisches, episodisches und prozedurales Gedächtnis.

Das **semantische Gedächtnis** arbeitet wie ein Archiv. Hier lagern beispielsweise Namen, Daten und Fakten.

Das **episodische Gedächtnis** hält die Umstände fest, unter denen Informationen aufgenommen wurden. Es speichert komplett

Situationen aus der Vergangenheit im zeitlichen und räumlichen Kontext. Sogar die damit verbundenen Emotionen und Gerüche finden in diesem weitläufigen Netz aus Nervenfasern eine dauerhafte Bleibe.

Das **prozedurale Gedächtnis** lagert erlernte Bewegungsabläufe und motorische Fähigkeiten ein. Dieses Wissen benötigt der Mensch für alltägliches Laufen oder auch beim Sport, etwa für die Bewegungen beim Tauchen in Ägypten. Und anders als beim episodischen und semantischen Gedächtnis, denen kein spezifischer Ort zugeschrieben wird, speichert es solche „Prozeduren“ vor allem mithilfe des Kleinhirns.

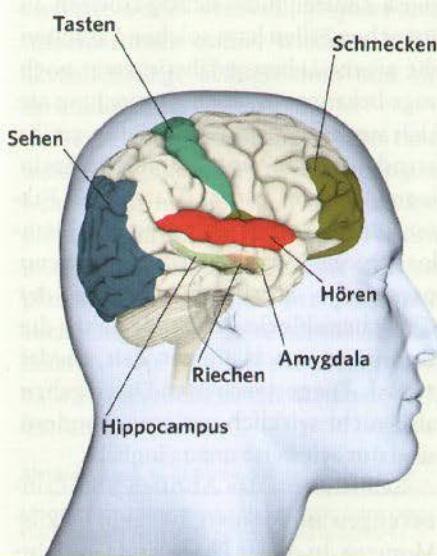
Im Gegensatz zu den anderen Inhalten erinnern wir uns an das, was im prozeduralen Gedächtnis abgespeichert ist, nur schemenhaft. Dort lagern nicht vergangene Situationen, die wir immer wieder vor dem inneren Auge abspielen können, sondern komplexe Bewegungsmuster, die der Körper ohne das Zutun unseres Verstandes aufeinander abstimmt.

Doch ob nun bewusst oder unbewusst: Jedes Mal, wenn wir uns an etwas erinnern, formt sich aus den einzelnen Gedächtnisinhalten, die in Abertausenden von Nervenzellen und verschiedenen Gehirnarealen abgespeichert werden, ein großes Ganzes. Unmengen dieser Erinnerungsfetzen sind durch Millionen von Synapsen miteinander verknüpft und können deshalb gleichzeitig abgerufen werden.

Trotz allem ist unser Speicher derart benutzerfreundlich, dass wir gar nicht bemerken, wie komplex, kleinteilig und verzweigt unser Gedächtnis eigentlich aufgebaut ist.

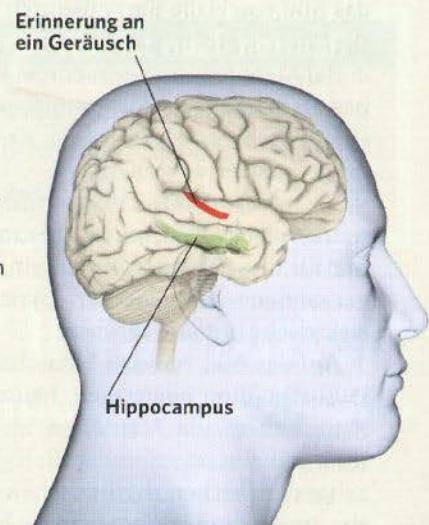
Und wie sehr unsere Fähigkeit, einen Vorgang aus der Vergangenheit plastisch in unserem Bewusstsein auftauchen zu sehen, ans Wunderbare grenzt.

Julia Völker



Die fünf Sinne

Alle Formen und Farben, Gerüche und Klänge, an die wir uns erinnern, sind das Werk unseres Gehirns: eine gespeicherte Interpretation von Abermillionen Reizen, die Augen, Ohren, Nase, Haut oder Zunge in jeder Sekunde registrieren, die in elektrische Impulse umgewandelt und in bestimmten Bereichen des Hirns verarbeitet werden (links). Wenn wir uns später an eine der sinnlichen Informationen erinnern, wird in den einst aktivierten Sinnesarealen ein ähnlicher Zellverbund stimuliert wie bei der ursprünglichen Wahrnehmung. Hören wir zunächst ein Geräusch, so regt dieses Zellen im Hörzentrum an; erinnern wir uns später daran, ist erneut ein ähnlicher Teil aktiv (rechts). Die Steuerungszentrale ist dabei der Hippocampus: Dort wird die Erinnerung an die Töne rekonstruiert.



„Catwoman“ auftrat, als Zeichnung zu sehen war oder ob nur die Buchstaben ihres Namens erschienen.

Natürlich bewahrt das Gehirn die Erinnerung „Halle Berry“ nicht in einer einzigen Nervenzelle auf. Vielmehr gehört diese Zelle zu einem Netz von Neuronen, das in immer gleicher Zusammensetzung beim Anblick des Hollywoodstars elektrische Signale abfeuert – und zwar auch dann, wenn man lediglich an die Schauspielerin denkt.

Ein Teil dieses Netzes ist vermutlich auch aktiv, wenn einem Menschen Halle Berrys ebenfalls schwarze Kollegin Whoopi Goldberg in den Sinn kommt. In diesem Fall dürften jedoch zusätzlich andere Neurone anspringen, die bei Halle Berry stumm bleiben. Und die Knoten dieser Netzwerke sind jene Synapsen, die beim Anlegen der Erinnerung verstärkt wurden.

Der Inhalt einer Erinnerung – etwa das Bild von Halle Berry – lässt sich womöglich mit folgendem, stark vereinfachtem Vergleich verdeutlichen: Wenn alle Nervenzellen in unserem Gehirn einer großen Menge von Menschen entsprechen, die auf dem Rasen eines Fußballstadions hocken, dann würde das Bild von Halle Berry dadurch abgespeichert werden, dass sich innerhalb dieser Menschenmenge mehrere Personen an den Händen fassen und sich zu einem Kreis verbinden. Dieser Kreis ist die gespeicherte Erinnerung.

Wenn wir diesen Gedächtnisinhalt nun abrufen wollen, müssen bestimmte, nur für diese Erinnerung miteinander verbundene Nervenzellen synchron elektrische Impulse abgeben.

Auf das Bild von den Menschen im Fußballstadion übertragen, heißt das: Nun stehen alle Menschen in dem Kreis gemeinsam auf und stoßen gleichzeitig die gleichen rhythmischen Rufe aus. Im Stadion könnte man sie hören

und dadurch erkennen, dass sie aufstehen, also aus der übrigen Menge herausragen.

Eine zweite, andere Erinnerung – etwa an Whoopi Goldberg – würde einer anderen Gruppe von Menschen entsprechen, die sich ebenfalls an den Händen fassen. Dabei könnten durchaus einige Personen beiden Gruppen angehören (im Gegensatz zu Menschen mit ihren nur zwei Händen, können

Nervenzellen Tausende Verbindungen zu anderen Nervenzellen knüpfen).

Das Aufflackern zweier unterschiedlicher Gedächtnisinhalte würde also bei dem Bild vom Fußballstadion bedeuten, dass erst die eine Gruppe aufsteht und rhythmische Rufe ausstößt, und sich dann die andere Gruppe erhebt.

DAMIT WIR ABER Halle Berry wiedererkennen, reicht es nicht, dass in unserem Hirn ein neuronales Netz für diese Frau existiert. Sondern wir müssen diese Erinnerung auch abrufen können. Das aber funktioniert nicht immer.

Jeder kennt die Situation, dass ihm ein Name buchstäblich „auf der Zunge liegt“ und trotzdem nicht ins Bewusstsein vordringen will.

Denn je nach Art des Gedächtnisinhalts und der Speicherdauer müssen unterschiedliche Hirnregionen zusammenwirken, um den Zugriff zu ermöglichen. Beim episodischen Gedächtnis etwa spielen zwei miteinander verbundene Regionen in der rechten Hirnhälfte eine Schlüsselrolle.

Der Bielefelder Hirnforscher Hans Markowitsch hat gezeigt, dass Menschen unter Gedächtnisschwund leiden, wenn diese Zentren nicht richtig arbeiten. In manchen Fällen kam solchen Patienten die eigene Lebensgefährtin zwar noch vage bekannt vor, doch vermochten sie sich weder zu erinnern, wie sie zu ihr standen, noch, wo sie ihre Partnerin kennengelernt hatten. Daten und Fakten konnten sie sich hingegen problemlos vergegenwärtigen. Manchmal, wenn psychische Störungen Ursache der Gedächtnisblockaden sind, kehrt die Erinnerung nach einiger Zeit wieder zurück. Die gespeicherten Daten gehen also nicht wirklich verloren, sondern sind nur zeitweise unzugänglich.

Selbst wenn das Abrufen von Erinnerungen funktioniert, ist es ein heikler Moment. In dieser Phase sind Gedächtnis-

Memo: **DAS GEDÄCHNTIS**

► **Aus einer unvorstellbaren Menge** von Fakten und Episoden, Bildern, Lauten und Gerüchen formt unser Gehirn unablässig Erinnerungen.

► **Für Ordnung in der Flut** der Erinnerungsschnipsel sorgt der Hippocampus. Diese Hirnstruktur dient als Schaltzentrale: Sie filtert, bewertet und verknüpft die Bruchstücke unserer Vergangenheit.

► **Kurzfristige Erinnerungen** führen für kurze Zeit zu biochemischen Veränderungen in den Nervenzellen. Dabei verbessert sich die Weiterleitung von Signalen für eine begrenzte Dauer. Bei langfristigen Informationen werden die Kontaktstellen zwischen den Nervenzellen dauerhaft umgebaut.

► **So bildet sich vermutlich** für jede Erinnerung im Geflecht der Nervenzellen ein charakteristisches Aktivitätsmuster heraus – gleichsam ein Code, nach dem die längst verflossenen Eindrücke für die Zukunft verschlüsselt werden.

Manchmal deutet
das Gehirn
Informationen um – und
verfälscht SO
das Bild unserer
Vergangenheit

nisinhalte anfällig für Umdeutungen, Hinzufügungen und Verfälschungen, denn das Gehirn verbindet sie dann mit Gefühlen und Eindrücken, die es aktuell beschäftigen.

So kann es gut sein, dass – um auf das eingangs erwähnte Beispiel zurückzukommen – der Nachbar mit Regenschirm gar nicht beim Gespräch mit dem Postboten vorbeigekommen ist, sondern zwei Tage später, als wir uns mit jemand anderem vor der Haustür unterhielten. Erst als wir uns den Briefträger ins Gedächtnis riefen, hat das Gehirn womöglich zwei unabhängige Erinnerungen gekoppelt.

Und war der Regenschirm wirklich grün und nicht blau?

Bei Zeugenaussagen vor Gericht sind solche Fehl-Erinnerungen ein großes Problem. Untersuchungen an Studenten, denen Forscher Kurzfilme zeigten, erwiesen zum Beispiel: 45 Prozent der Szenen, die den Probanden hinterher als Standfotos vorgelegt wurden und die sie als Teil des Filmes identifizierten, waren so gar nicht vorgekommen.

Und doch bietet diese Geschichtsklitterung auch Vorteile. Schließlich ist das Gedächtnis im Laufe der Evolution nicht als Selbstzweck entstanden, sondern als Hilfe, sich in der Welt zurechtzufinden: Wer sich erinnern konnte, wo im Jahr zuvor die saftigsten Früchte gediehen oder das Wild vorbeizog, war im Überlebenskampf klar im Vorteil. Da sich aber die Umwelt ständig veränderte, war es sinnvoll, gespeicherte Informationen immer wieder mit der aktuellen Lage abzulegen und sie ihr anzupassen.

Deshalb ist Erinnerung niemals eine exakte Wiedergabe der Vergangenheit, sondern stets eine Konstruktion, die das Gehirn aus Splittern des Gestern und Heute zusammensetzt. Und so plausibel jene Version der Ereignisse auch klingen mag, die unser Gedächtnis liefert – wir können nie sicher sein, dass es uns nicht in ein Märchenreich entführt. □

Alexandra Rigos, 43, ist Wissenschaftsjournalistin in Berlin.

Literatur: Hans J. Markowitsch, „Das Gedächtnis. Entwicklung, Funktionen, Störungen“, C. H. Beck; kurze und verständliche Zusammenfassung des aktuellen Forschungsstandes.

Umdenken – besser leben

ZEIT WISSEN zeigt in der neuen 3-teiligen Serie »Was ist noch normal?«, wie wir uns und unsere Psyche in der Hundertprozentengesellschaft schützen können. Lesen Sie im 1. Teil zum Thema Perfektionismus, wie übertriebener Ehrgeiz und zu hohe Ansprüche uns oft quälen – und warum schlechter manchmal besser ist.



Neue Serie: Was ist noch normal?

- Teil 1: Perfektionismus
- Teil 2: Hypochondrie – ab 31.5. erhältlich
- Teil 3: Informationsflut – ab 2.8. erhältlich

Mehr Infos unter: www.zeit.de/zw-probeabo

ZEIT WISSEN

BEWEGUNG: Der Mensch im Grenzbereich

Text: Julia Völker

SPRINTEN

Schneller als schnell

Während Sportler für bewusste Entscheidungen im Gehirn normalerweise eine Reaktionszeit von mindestens 180 Millisekunden benötigen, schaffen es manche Sprinter, auf bestimmte Reize in weniger als 130 Millisekunden zu reagieren, etwa beim Startschuss. Das liegt aber nicht daran, dass sie einfach loslaufen und einen Fehlstart riskieren. Vielmehr werden im Gehirn von Spitzensportlern viele der Vor-



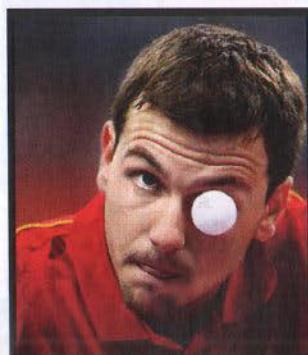
Im Kopf beginnt die Bewegung schon vor dem Startschuss

gänge, die zum Los sprinten gehören, bereits angestoßen, noch ehe der Schuss ertönt. Denn die Bewegungskoordination muss zunächst in der prämotorischen Hirnrinde antizipiert werden, bevor sie an den motorischen Kortex und von dort an die Beinmuskulatur gesendet wird. Diese Vorbereitung kann der Sportler im Training mental immer wieder starten und abbrechen - ohne sich wirklich zu bewegen. Löst er dieses Bewegungsprogramm nun aus, ehe der Startschuss ertönt, kommt er schneller los und schafft so das physiologisch eigentlich Unmögliche. ■

TISCHTENNIS

Augen für den Ball

Bei dieser Sportart kommt es besonders auf hohe Reaktionsgeschwindigkeit an. Profis wie der Deutsche Timo Boll, Zweiter der Weltrangliste, können während des Spiels den Stempel auf dem Ball verfolgen und so dessen Flugbahn kalkulieren. Dabei hilft ihnen vermutlich eine genetische Ausstattung, die sie besonders scharf sehen lässt und zudem die Schnelligkeit ihrer Nerven maximiert. Mit Training können Sportler ihr Tempo dagegen kaum erhöhen, denn das ist individuell vorgegeben und vom Bau der Nerven sowie deren isolierender Umhüllung abhängig. Nur wer also die richtigen



Profis wie Timo Boll kalkulieren noch im Flug die Bahn des Balls

Gene mitbringt, hat das Potenzial zum Spitzensportler. Die Schnellsten können in weniger als 180 Millisekunden bewusst auf einen visuellen Reiz, etwa einen heranfliegenden Tischtennisball, reagieren. Der Durchschnittsmensch braucht dazu etwa 200 Millisekunden - ein im Wettkampf entscheidender Nachteil. ■



Schnelle, komplexe Bewegungen fordern das Hirn aufs Höchste

BASKETBALL

Mehr Masse im Kopf

Training und Spielroutine können das Gehirn eines Sportlers verändern - etwa bei manchen Basketballspielern. Untersuchungen im Kernspintomographen erwiesen, dass bei ihnen die Hirnregionen, die Körperbewegungen steuern, an Größe zunehmen. Vor allem jene motorischen Areale, die für das Erlernen von Bewegungsabläufen zuständig sind, zeichnen sich durch Wachstum aus. Der Grund dafür sind vermutlich die komplexen Abläufe beim Dribbeln und die Pässe bei hohem Tempo: Mehr Hirnsubstanz scheint also die Grundlage für schnelle und genau abgestimmte Bewegungen bei Spitzensportlern zu sein. ■

GOLF

Gefährliches Zuviel

Beim Golfspielen kommt es besonders auf die Feinmotorik an. Sie ist entscheidend dafür, den Schläger perfekt zu schwingen und den Ball mit genau der richtigen Geschwindigkeit und im richtigen Winkel zu treffen. Die graue Substanz im Gehirn, die für die Feinmotorik zuständig ist, nimmt daher durch das stetige Training kontinuierlich zu - auf diese Weise steigern die Golfer ihre Präzision und ihr Können. Wenn sie allerdings über einen langen Zeitraum zu intensiv üben, kann es dazu kommen, dass die Gehirnzentren, die bestimmte Bewegungsabläufe steuern, so groß werden, dass sie sich gegenseitig überlagern



Wenn Golfspieler zu viel üben, überlagern sich Hirnareale

und das bis dahin Erlernte verloren geht. Die Spieler können dann nicht mehr differenzieren, ob sie zum Beispiel den kleinen oder den Ringfinger bewegen, und entwickeln Muskelkrämpfe - das Aus für ihre Karriere. ■

44,72 km/h

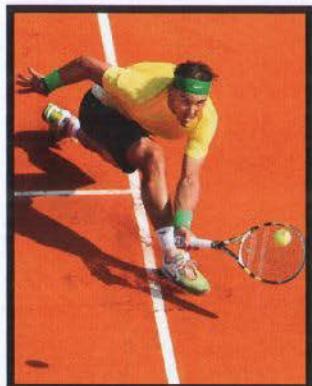
IST DIE HÖCHSTGESCHWINDIGKEIT DES MENSCHEN. 146 Millisekunden verharrete der Jamaikaner Usain Bolt am 16. August 2009 in seinem Startblock, dann sprintete er los. Auf den folgenden 100 Metern erreichte er eine Höchstgeschwindigkeit von 44,72 km/h - so schnell war niemand zuvor. Endzeit: 9,58 Sekunden, Weltrekord. ■

Nicht nur das Denken fordert unser Gehirn extrem, auch bei schnellen Reaktionen und komplexen Bewegungsabläufen vollbringen Nervenzellen verblüffende Leistungen

TENNIS

Der Ball in Zeitlupe

Profisportler, etwa Tennis-spieler, die in Hochgeschwin-digkeit reagieren müssen, erleben manche Wettkampf-situation wie in Zeitlupe und nehmen den Ball dabei über-dimensional groß wahr. Hirnforscher sehen darin einen uralten Mechanismus, der sich



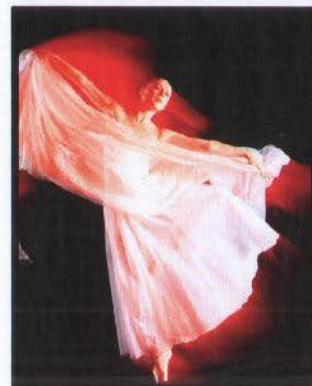
In Extremsituationen scheint sich die Zeit zu verlangsamen

im Laufe der Evolution des Menschen entwickelt hat. Er diente ursprünglich dazu, in höchster Notlage schnell und dennoch richtig reagieren zu können. Gleichtes gilt noch heute in Extremsituationen bei Wettkämpfen oder einer akuten Bedrohung des Lebens (etwa bei Nahtod-erfahrungen). Unter Stress und Anspannung besteht die Gefahr, sich in einer bewussten Abwägung zu verzetteln. Deshalb übernimmt dann das Unbewusste die Kontrolle. Die Informationen werden dem Bewusstsein erst im Nachhinein zugespielt – und daher wie in Zeitlupe wahrgenommen. Auf diese Weise wird unserem Bewusstsein vorgetäuscht, dass es stets Herr der Situation ist und selbst entschieden hat. ■

BALETT

Schrumpfendes Hirn

Verblüffendes haben Forscher bei professionellen Ballett-tänzerinnen festgestellt: Deren Gehirn ist in manchen Bereichen verkleinert. Das erklären die Wissenschaftler durch eine gestiegene Effizienz: Langes Training der komplexen Bewe-gungen lässt demnach einige Areale in den prämotorischen Hirnregionen schrumpfen; die geübten Ballerinas können ihre Bewegungsabläufe schneller und mit weit weniger Nervenaktivität ausführen. Vermutlich perfektionieren sie dazu die neuronalen Verbindungen für bestimmte Bewegungsmuster, während Nervenzellen für ande-re, nicht benötigte Bewegungen abgebaut werden. Auch bei hochintelligenten Menschen sind verkleinerte Hirnregionen



Wenn Bewegungen effizienter werden, ist weniger Hirn nötig

beobachtet worden: Sie denken offenbar besonders effizient. Der Unterschied zu Basketballern – wo man den gegenteili-gen Effekt feststellte – könnte darin liegen, dass die ihre Bewe-gungen auf den Gegner abstimen müssen und so weniger leicht standardisieren können. ■

APNOETAUCHEN

Gegen den Atemreflex

Mehr als acht Minuten können manche Extremaucher in den Tiefen des Meeres verbringen – mit nur einem Atemzug, ohne Sauerstoffgerät. Das ist eine Zeitspanne, bei der Untrainierte schon dem Hirntod nahe wären. Denn normale Menschen ver-mögen nur etwa ein bis zwei Minuten unter Wasser zu blei-ben, dann setzt Atemnot ein sowie der Reflex, nach Luft

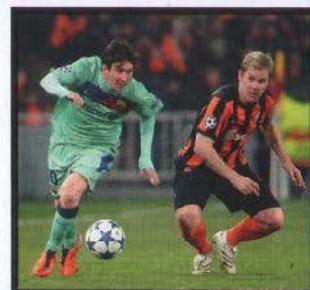


Apnoetaucher: dank ihrer Tech-nik minutenlang unter Wasser

FUSSBALL

Intelligentes Kicken

Fußballer vollbringen Leistun-gen, die man manchen Profis nicht unbedingt zugetraut hätte. Wenn sie etwa Abwehrspieler umdrillen, schicken die moto-rischen Areale der Hirnrinde komplexe Bewegungsbefehle über das Rückenmark an die Muskulatur, wobei das Kleinhirn die Feinabstimmung übernimmt. So berechnet das Gehirn die Position des Fußes relativ zum Ball und zum Gegner. Es berück-sichtigt das Gewicht der Fußball-schuhe, die Glätte eines nassen Rasens und die Ermüdung der Muskeln. Auch die Stellung



Das Umdribbeln eines Gegners fordert enorme Rechenleistung

der Füße, der Gelenke und der Oberschenkel wird mit einbezo-gen. Doch das ist nicht alles: Das Gehirn extrahiert aus den visuellen Eindrücken der Augen ein dreidimensionales Bild und kalkuliert in diesem Raum Bewe-gungsrichtungen des Gegners und des Balles voraus. Und will der Fußballer eine Flanke zum Mitspieler schlagen, so muss er sowohl dessen Position als auch den Ort des Balles blitzschnell analysieren – in Prozessen, die teilweise nur 100 Millisekun-den dauern. ■



AFRIKA

Die Nuer

Das Zeitempfinden der Nuer - Nomaden aus dem Südsudan - richtet sich nicht nach objektiv messbaren Einheiten, sondern orientiert sich an wiederkehrenden Umweltveränderungen wie Trocken- oder Feuchtperioden. Solche Maßstäbe sind zwar nicht genau, aber dafür sehr verlässlich

JENSEITS DER STUNDEN

Kaum etwas unterscheidet die Menschen so sehr wie ihr Umgang mit der Zeit. Während in den westlichen Industriestaaten jede Sekunde gezählt und ein Tag oftmals exakt geplant wird, haben manche Kulturen gänzlich andere Zeitkonzepte entwickelt. Einige richten ihren Kalender nach dem jeweils vorherrschenden Duft von Bäumen und Blumen, andere gehen gar davon aus, dass nicht die Zukunft vor ihnen liegt, sondern die Vergangenheit

Text: Jochen Pioch



Ein Mann irrt in den 1950er Jahren durch Afghanistans Hauptstadt Kabul, auf der Suche nach seinem Bruder. Stundenlang läuft er durch die Stadt. Er fragt die Markthändler, ob sie ihm helfen könnten, und hinterlässt seine Adresse für den Fall, dass sein Bruder doch noch erscheint. Aber keiner weiß einen Ausweg. Im nächsten Jahr kommt

der Mann wieder, die Geschichte wiederholt sich. Er sucht seinen Bruder, die Menschen werden auf ihn aufmerksam, ein Angehöriger der US-Botschaft hört von ihm und fragt, ob die Suche erfolgreich sei. Der Mann antwortet, er und sein Bruder hätten sich in Kabul verabredet, aber keiner von beiden hätte daran gedacht, das Jahr zu vereinbaren.

Für Menschen, die in einer Welt voller Uhren und Kalender leben, klingt diese Geschichte unglaublich. Der Kulturforscher Edward T. Hall hat sie 1959 festgehalten, als er für

ein Projekt begann, die Lebenswelten rund um den Globus zu untersuchen. Er ging der Frage nach, wie man die Gegensätze zwischen Kulturen systematisch beschreiben kann, und stellte fest, dass kaum etwas die Menschen

die präzise Zeit im Alltag nicht benötigt wird, muss man sie auch nicht messen.

Die noch heute archaisch lebenden Bewohner der Andamanen-Inseln im Indischen Ozean zum Beispiel brauchen keine genauen Angaben über das Wann

und Blumen in ihrer Umgebung orientiert. So brauchen sie niemanden nach dem Datum zu fragen, sondern müssen nur tief einatmen und feststellen, welche Pflanze gerade blüht. Sie haben keine theoretische Vorstellung von Zeit, sondern nehmen deren Ablauf durch den Wechsel der Düfte wahr.

ES GIBT ABER auch Völker, die stark von den Jahreszeiten abhängig sind und die deshalb eine etwas genauere Taktung benötigen.

Die Nuer, Viehzüchter im Sudan und in Äthiopien, haben einen sehr speziellen eigenen Kalender, mit dem sie ihr wechselvolles Leben organisieren. Im Monat *kur* errichten sie zum Beispiel ihre Lager bei den Viehweiden. Woher wissen sie aber, wann Kur ist? Das ist eben dann, wenn sie ihre Lager bauen.

In die Dörfer kehren sie im Monat *dwat* zurück. Um zu bestimmen, wann

IM TAKT DER NATUR

Düfte von Blüten helfen, das Jahr in Abschnitte zu teilen

so sehr unterscheidet wie ihr Umgang mit der Zeit. Denn das Verständnis der Zeit bestimmt die Psyche, den Wohlstand und die Gesundheit ganzer Kulturen.

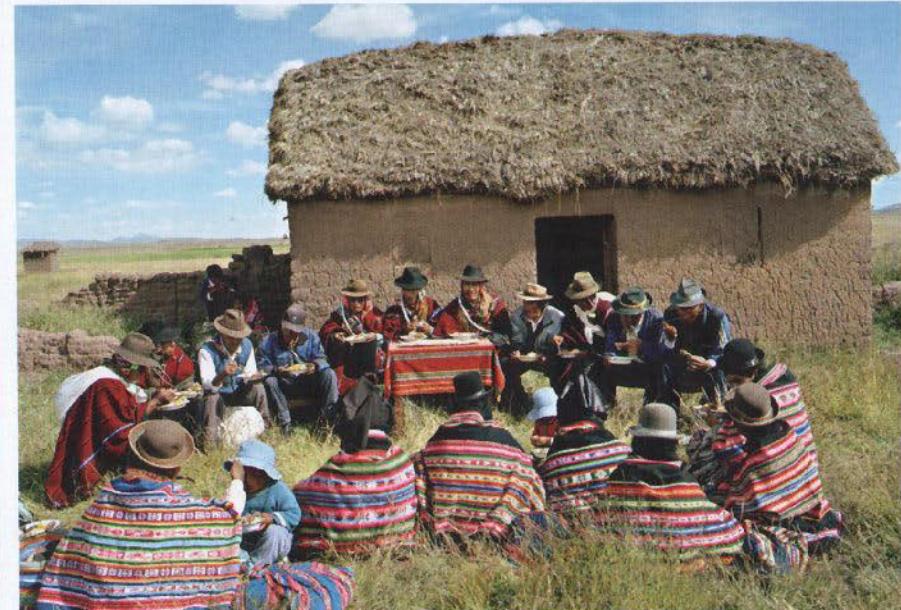
Seither haben Wissenschaftler ermittelt, dass das Zeitgefühl in vielen Gesellschaften radikal anders ist als in den westlichen Industriestaaten.

In unserer Welt wird jede Sekunde gezählt, das Leben ist genau geplant, und die exakte Taktung wird zum materiellen Wert.

Anderswo dagegen wird der Verlauf des Lebens nicht genau gemessen, sondern nur geschätzt – und manchmal sogar ignoriert.

Wie Menschen den Fluss der Ereignisse empfinden, hängt eng mit ihren Lebensumständen zusammen: Wenn

und Wielange. Wo sie leben, herrscht ein sehr gleichförmiges Klima. Die Temperaturen ändern sich das Jahr über kaum, die Tage sind im Winter nur etwas kürzer als im Sommer. Das einzig markante Naturereignis im Jahresablauf ist die Trockenperiode zwischen Januar und April. Um zu wissen, wann die



SÜDAMERIKA Die Aymara

Anders als die meisten Menschen verorten die Indianer vom Volke der Aymara in Nordchile die Vergangenheit vor und die Zukunft hinter sich. Weil man mit den Augen nur sieht, was vor einem liegt, befindet sich ihrem Verständnis nach dort das Bekannte – das Vergangene. Hinten, wo man nichts sieht, erstreckt sich das Unbekannte, das Zukünftige

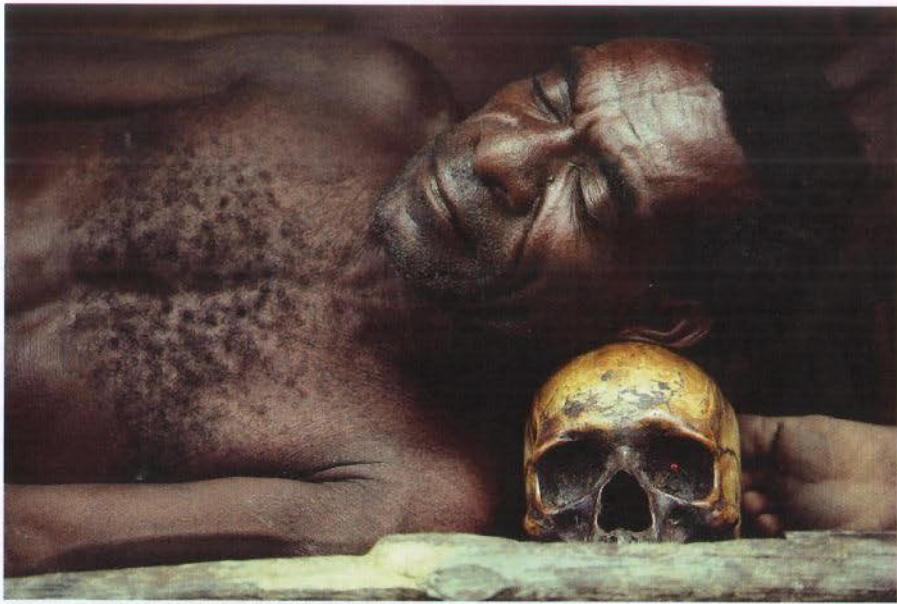
wiederkehrt, reicht eine Einschätzung, die auf wenige Wochen genau ist.

Obwohl sie keine Zeitmesser haben, können diese Waldbewohner ihr Jahr dennoch in Abschnitte einteilen. Dazu bedienen sie sich ihres Geruchssinns.

Sie haben einen Kalender entwickelt, der sich an der Abfolge der jeweils vorherrschenden Gerüche von Bäumen

Dwat ist, warten sie auf den Moment, in dem es geeignet erscheint, die Lager abzubrechen und nach Hause zu gehen.

Dieses Desinteresse an objektiv messbaren Zeiteinheiten erscheint für Bewohner der westlichen Welt unverständlich. Doch wo die Natur den Takt des Lebens vorgibt, reicht ein Kalender wie jener der Nuer. Für sie wäre es über-



flüssig, sich um so kleine Einheiten wie Tage und Stunden Gedanken zu machen, die von Geräten gezählt werden.

Aber natürlich verabreden sich Menschen überall auf der Welt auch dann, wenn sie keine Uhr besitzen – sie organisieren sich einfach mithilfe von Hinweisen aus ihrem Alltag.

Wenn sich beispielsweise im afrikanischen Burundi zwei Freunde am nächsten Morgen sehen wollen, sagen sie: „Wir treffen uns, wenn die Kühe auf die Weide gehen.“ Soll es gegen Mittag sein, heißt es: „Wenn die Kühe zum Wasser gehen.“ Solche alltäglichen Zeitmaßstäbe sind zwar nicht präzise, aber verlässlich.

Auch in Gesellschaften, in denen Uhren die Zeit auf die Sekunde genau anzeigen, lassen sich die Menschen

es eher ungenau. Wenn sie kurze Spannen messen wollen, etwa bei sportlichen Wettbewerben, verlassen sie sich auf ihre „Kokosnuss-Uhr“: eine halbierter Schale mit einem Loch in der Mitte, die in einen Wasserkübel gelegt wird. Sie läuft langsam voll und versinkt innerhalb von drei bis fünf Minuten.

Und genau diese Nicht-Präzision schätzen die Kelantaner an der Nuss-Uhr. Die Sekunden der Armbanduhren brauchen sie nicht; die wertvollen Geräte dienen ihnen eher als Statussymbole oder für Terminabsprachen.

Dass die genaue Zeit gelassen zur Kenntnis genommen wird und anders als im Westen nicht den Alltag bestimmt, scheint erstaunlich.

Und es gibt noch extremere Beispiele: So waren in China schon im

wurden die Uhren der europäischen Missionare als Neuerung bestaunt.

Wie konnte es dazu kommen, dass einer so wichtigen Erfindung keine Aufmerksamkeit geschenkt wurde? Die präzise Uhr hätte das Leben in China stark verändert können. Denn die Chinesen lebten schon vor Christi Geburt nicht allein von Jagd oder Viehzucht,

SÜDOSTASIEN

Die Papua

Für die Papua in Neuguinea ist nicht nur das Jetzt, sondern auch das Ewige stets präsent. Denn nach ihrer Auffassung ist ein Mensch untrennbar mit der Welt der Vorfahren verbunden und existiert niemals allein auf sich gestellt. Je enger er diese Verbindung knüpfen kann – etwa, indem er auf einem Ahnenschädel schläft –, desto größer ist sein Wohlbefinden

sondern hatten eine Hochkultur entwickelt, deren Handwerker und Beamte sich nicht nach den Jahreszeiten oder nach Tieren und Pflanzen richteten.

VERMUTLICH klingen diese Beispiele deshalb so ungewöhnlich, weil sie aus einer Welt stammen, in der Menschen ein grundsätzlich anderes Zeitgefühl haben. Eines nämlich verbindet die Urwaldbewohner mit den Viehzüchtern und den Chinesen des alten Reichs: Nach ihrer Auffassung *vergeht* die Zeit nicht – ist also nicht, wie in unserer Vorstellung, einem Pfeil vergleichbar –, sondern *dreht* sich in einer ständigen Kreisbewegung.

Das Leben ist in diesem Weltbild eine Abfolge von Tagen, die in etwa gleich lang sind, sowie von Jahren, die stets nach dem gleichen Muster ablaufen. Während in der abendländischen Zeitvorstellung ein Moment kurz darauf schon für immer vergangen ist, kehrt

ZEITMESSUNG

Malaysische Bauern verlassen sich lieber auf ihre »Kokosnuss-Uhr«

nicht immer vom Fortschritt der Technik beeindrucken. Beim Bauernvolk der Kelantaner in Malaysia ist es durchaus üblich, eine Armbanduhr zu besitzen. Doch die Kelantaner lieben

7. Jahrhundert präzise Wasseruhren bekannt. Doch gab es für diese Geräte offenbar keine sinnvolle Verwendung. Sie gerieten in Vergessenheit – und sehr viel später, im 17. Jahrhundert,

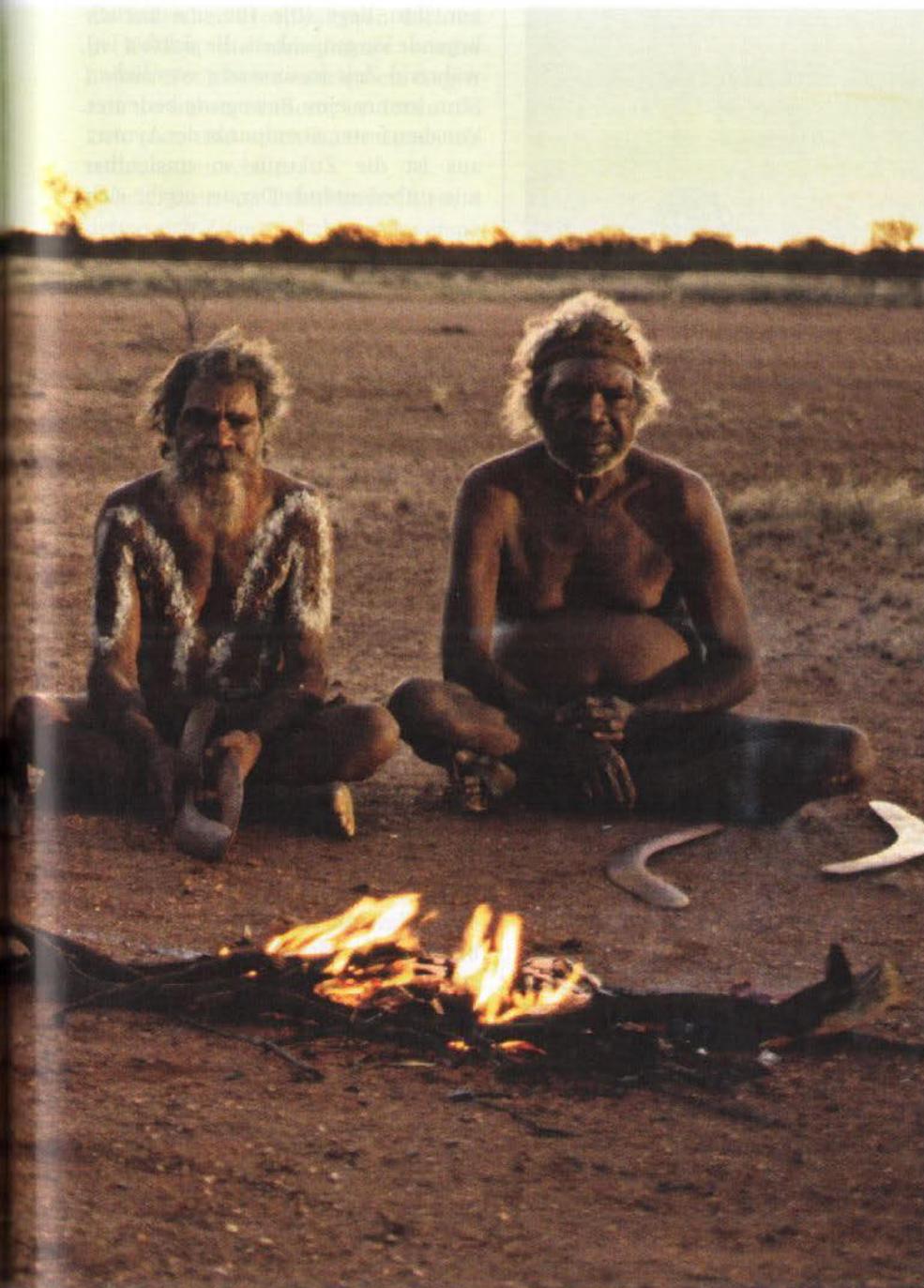


WELTANSCHAUUNG

Bei vielen Völkern vergehen Momente nicht – sie kehren wieder

er für andere Kulturen am nächsten Tag, im nächsten Jahr, in der nächsten Generation wieder. Deshalb ist es auch nicht nötig, die Zeit zu messen, zu berechnen, einzuteilen und zu sparen.

Das gleichförmige Leben der Naturvölker, aber auch die vergleichsweise langsame historische Entwicklung haben begünstigt, dass dieses zyklische Weltbild weit verbreitet war.



So prägte das Nilhochwasser die Chronologie der alten Ägypter. Es war das entscheidende Ereignis, mit dem das Kalenderjahr begann. Sobald der vom Monsun getränktes Fluss im Sommer über die Ufer trat, begann das Wachstum der Pflanzen und sicherte die Ernährung des Riesenreichs.

Der Kreislauf von Säen, Wachsen und Ernten wurde durch die Nilflut

immer wieder angestoßen. Und damit begann auch das Leben von Neuem.

Dieser Kreislauf fand sich in der Vorstellung der Ägypter überall wieder: im Wechsel der Jahreszeiten, in den Wanderungen der Zugvögel, im Zyklus von Geburt und Tod.

Am Himmel zogen Sterne und Mond in immer wiederkehrenden Bahnen über das Firmament, und auf den Tod

eines Pharao folgte die Thronbesteigung des neuen Herrschers.

Umgekehrt aber gab es auch Dinge, die fest und von Dauer waren, die sich nie wandelten – etwa das Land.

Niemand war der Meinung, dass sich die Welt dauerhaft verändere. Die Zeit war kein Gefäß, das nach und nach mit Ereignissen gefüllt wurde, sondern etwas, das sich wieder und wieder nach dem gleichen Muster vollzog.

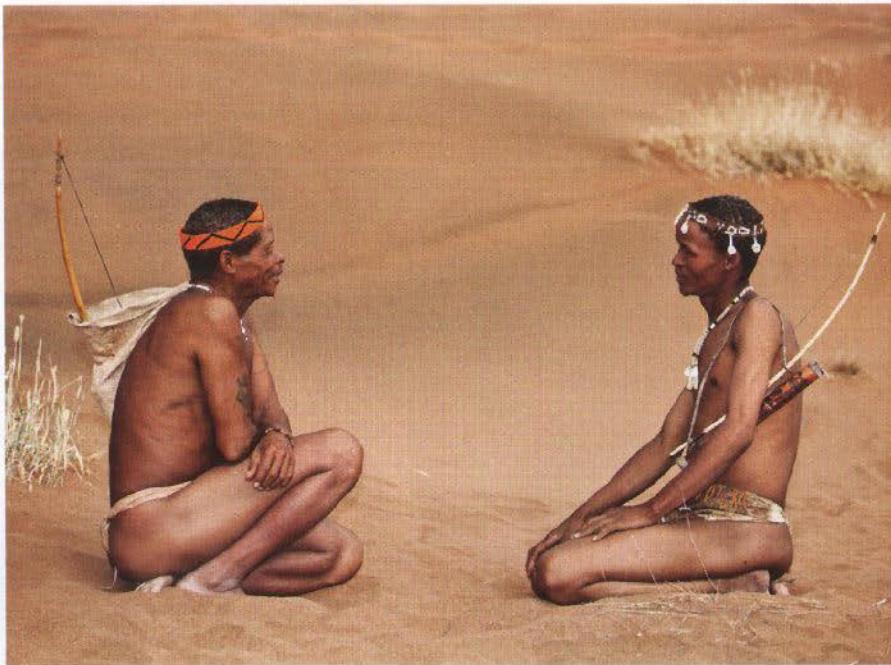
AUCH IM babylonischen Reich, einer der ältesten Zivilisationen überhaupt, war dieses „chronometrische“ Empfinden von Stabilität geprägt. Doch das Denken im Land zwischen Euphrat

AUSTRALIEN Die Aborigines

Die Ureinwohner Australiens glauben nicht an einen Strahl aneinander gereihter Ereignisse. Vielmehr verweben sie Vergangenheit, Gegenwart und Zukunft zu einem einzigen spirituellen Zweck: der Verbindung zur »Traumzeit«. Die ist im Denken der Aborigines der Ursprung alles Lebendigen, sie gleicht einem Spiegel all dessen, was war, ist und jemals sein wird

und Tigris orientierte sich im zweiten und ersten vorchristlichen Jahrtausend vor allem an der Vergangenheit.

Heilige Texte wurden in uralten Sprachen festgehalten, die niemand mehr sprach. Herrscher versuchten ihre Macht zu stützen, indem sie sich auf Vorgänger beriefen, die seit Jahrhunderten tot waren. König Nabonid, der im 6. Jahrhundert v. Chr. regierte, ließ einen heiligen Bezirk umgraben, um nach den Resten eines Tempels zu suchen, den ein König von Babylon 2300 Jahre früher dort errichtet hatte. Auf diesen Spuren baute Nabonid dann das Fundament seines neuen Tempels.



Die Zukunft empfand diese Kultur nicht unbedingt als positiv. Worte wie „Fortschritt“, „Entwicklung“ oder „Neuerung“ kannte die Sprache der Babylonier nicht. Nur der Begriff „Veränderung“ findet sich dort – abgeleitet von einem Wortstamm, der „Feind“ oder „Feindliches“ bedeutet.

Der mesopotamische Priester Berosos, der im 3. Jahrhundert v. Chr. den Griechen seine Kultur erklären wollte, berichtet in seiner Schrift „Babylonia ka“: Gleich nach der Erschaffung der Welt habe ein fischgestaltiges Wesen namens Oannes die Menschen Schriftkunde, Künste und Architektur gelehrt. Seither wurde „von keinem anderen mehr auch nur irgendetwas erfunden“.

In Babylon existierten zwar präzise Kalender, und auch Wasseruhren waren bekannt. Dennoch war man bestrebt, alles auf seinen Urszustand zurückzubringen. Die Zeit war kein steter Fortschritt, der Entwicklungen ausgesetzt ist. Wenn man die Babylonier gefragt hätte, wo sie ihre Zukunft sehen, hätten sie hinter sich gedeutet. Denn dort liegt das, was noch unbekannt ist.

Die Vergangenheit dagegen lag ihnen vor Augen und damit vorn – ganz anders als bei uns, die wir „nach vorn blicken“ und die Vergangenheit „hinter

uns lassen“. In unserer Sicht wandert das Leben geradeaus vom Gestern ins Heute. Dieses Bild von einem „Zeitstrahl“ ist bei jedem Europäer oder Amerikaner fest im Kopf verankert.

AUCH HEUTE NOCH gibt es Kulturen, in denen die Vergangenheit das Dasein bestimmt und der Blick in die Zukunft überflüssig erscheint, etwa die Aymara in den Anden Nordchiles: Wenn sie „früher“ sagen, weisen sie in einer halbkreisförmigen Bewegung vor sich.

Überhaupt erzählen sie gern von der Vergangenheit. Werden sie dagegen nach der Zukunft gefragt, reagieren sie häufig gleichgültig – denn es interessiert sie wenig, was als Nächstes passiert.

vor ihm liegt (die für uns zurückliegende Vergangenheit, die sichtbar ist), während Zeit in unserem westlichen Sinn immer eine Bewegung bedeutet. Von dem festen Standpunkt der Aymara aus ist die Zukunft so unsichtbar wie unbedeutend. Daraus ergibt sich

AFRIKA Die San

Die San sind eines der ältesten Völker der Erde. Als Jäger und Sammler ziehen noch immer einige Stammesmitglieder durch die Kalahari-Wüste. Menschen, die so leben, benötigen keine präzisen Kalender oder Zeitmesser. Sie teilen den Tag nicht in Minuten oder Stunden ein, sondern nach bestimmten Ereignissen wie regelmäßigen Ritualen oder der täglichen Jagd

auch eine statische Zeitwahrnehmung, die vieles mit dem zyklischen Weltbild gemein hat: Die Welt ist keiner ständigen Veränderung ausgesetzt – und wenn sich doch etwas radikal Neues ergibt, dann wird es mit Bezug auf die Vergangenheit erklärt und eingordnet.

Vor allem aber ist die Zeit keine begrenzte Ressource, die unaufhörlich und unwiederbringlich vergeht, sondern ein ewiger, sich erneuernder

VERGANGENHEIT UND ZUKUNFT

Für manche Völker wandert das Leben vom Heute ins Gestern

Dementsprechend geduldig sind sie, wenn sie auf den Bus oder einen verspäteten Besuch warten müssen.

Im Verständnis der Aymara steht ein Mensch still und beobachtet, was

Zustand. Warum sollte man dem also große Aufmerksamkeit schenken?

Dieses zyklische (oder statische) Weltbild findet sich in unzähligen Kulturen. Auch die Maya, die Azteken und

die indischen Hochkulturen dachten in Zyklen, die sich immer wiederholten. Noch heute existiert ein Gegensatz zwischen Ländern, in denen die Zeit rast, und solchen, in denen sie stillzustehen scheint.

Jeder kann von Urlauben erzählen, in denen sich Züge apokalyptisch verspäteten, von scheinbar endlosen Schlangen vor Ämtern, von Einheimischen,

sondern glauben an den ewigen Kreislauf der Zeit.

Es wäre aber natürlich falsch, diesen Kulturen jedes Gefühl für Zeit abzusprechen – die Kokosnuss-Uhr der Kelantaner ist nur ein Beispiel für unzählige Spielarten, kurze und lange Abschnitte zu messen oder abzuschätzen. In der Regel geht es diesen Menschen beim Phänomen Zeit nicht um

mand wach war“. Der Morgen ist die Zeit, „wenn der Hahn kräht“.

Der US-Psychologe Robert Levine hat die unterschiedlichen Zeitkulturen eingehend untersucht und festgestellt, dass häufig ein Zusammenhang zwischen zyklischem Weltbild und der Gelassenheit, ja Langsamkeit einer Kultur besteht. Wo die Uhr keine oder nur eine unwichtige Rolle spielt, steht man nicht unter dem Druck, Dinge schnell oder nach Plan zu erledigen. Die Menschen tendieren dazu, sich die Zeit zu nehmen, die sie für eine Aufgabe oder ein Gespräch brauchen. Nicht der Terminkalender bestimmt, wann sie sich treffen und auseinandergehen, sondern das subjektive Gefühl für die Situation.

Levine spricht von der „Ereigniszeitkultur“, in der sich die Taktung den Ereignissen unterzuordnen hat. Das Gegenbild sei unsere „Uhrzeit-Kultur“,

PUNKTLICHKEIT

Spätestens mit dem Beginn der Neuzeit wurde die genaue Zeit zur Handelsware

die seelenruhig warten und auf ungeduldige Europäer mit Unverständnis, Spott oder Mitleid reagieren. In Brasilien spricht man von der Amanhã-Kultur, die dazu tendiert, Dinge auf morgen aufzuschieben. „Darle tiempo al tiempo“, der Zeit ihre Zeit geben, heißt es in Mexiko. In Afrika gibt es das Sprichwort: „Europäer haben Uhren, Afrikaner haben Zeit.“

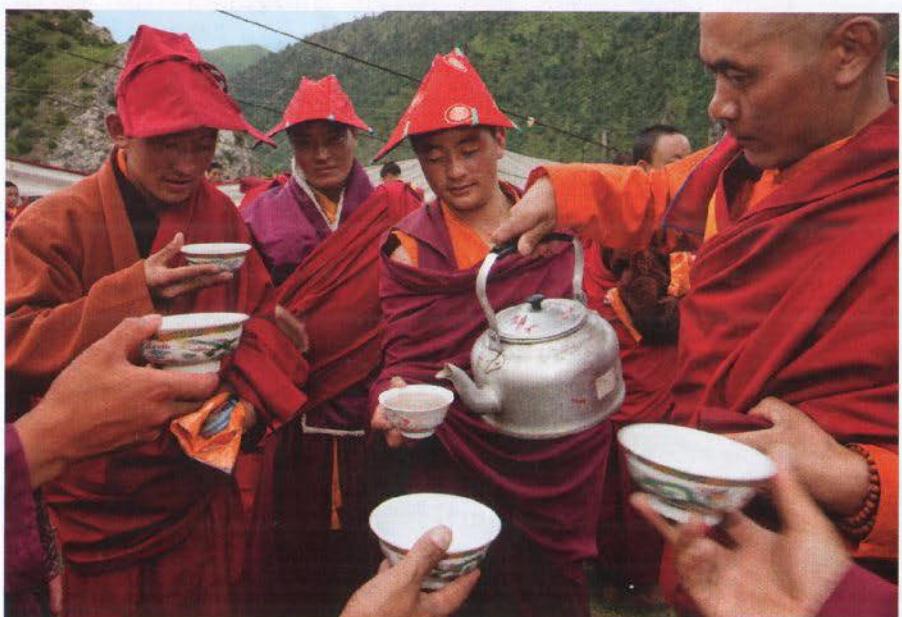
Der Grund dafür ist nicht etwa Ignoranz oder Nachlässigkeit, sondern ein grundsätzlich anderes Zeitverständnis. Diese Menschen haben eben nicht das unerbittliche Ticken der Uhr im Kopf,

abstrakte Zahlensysteme, sondern um konkrete Ereignisse.

Auf Madagaskar beschreiben die Einwohner beispielsweise die Dauer von etwa 30 Minuten mit den Worten: „So lange, wie es dauert, Reis zu kochen.“

In Tibet teilen die Menschen die Zeit unter anderem nach der Spanne ein, die eine frische Tasse Tee braucht, um abzukühlen – fünf englische Meilen zu gehen dauert dementsprechend etwa drei Tassen Tee.

Und wer in Burundi erzählen will, was in der vergangenen Nacht geschehen ist, spricht von der Zeit, „als nie-



CHINA

Die Tibeter

Buddhistische Völker wie die Tibeter empfinden die Zeit nicht als einen Strom linear ablaufender Ereignisse, in der das Dasein einen Anfang und ein Ende hat. Vielmehr glauben sie an einen Kreislauf aus Leben, Tod und Wiedergeburt, bis sie in das *nirvana* überreten. Wie ein jeder wiedergeboren wird, hängt vor allem ab von der moralischen Qualität seiner Taten – dem *karma*.

in der man oft den Satz höre: „Ich muss jetzt gehen, ich habe keine Zeit mehr.“

Diese westliche Sicht hängt mit der Vorstellung einer linear ablaufenden Zeit zusammen, die mit den monotheistischen Religionen entstand. Für Juden, Christen und Muslime hat alles einen Anfang und ein Ende – denn sie glauben an einen Schöpfergott, der die Welt

»Europäer haben Uhren, Afrikaner haben Zeit«

erschaffen hat, und an ein bestimmtes Ereignis, mit dem sie enden wird: das Jüngste Gericht, die Ankunft des Messias, die Rückkehr des Propheten.

DIE VORSTELLUNG eines solchen Zeitstrahls hat die westlichen Industrieländer mehr als andere Regionen der Erde dazu gebracht, das Phänomen zu messen, zu berechnen und einzuteilen. Bereits seit dem Ende des Mittelalters wurde in Europas Städten das Leben durch den Klang der Uhrglocken geregelt, setzten Kaufleute und Manufakturen sie ein, um den Arbeitsalltag zu vereinheitlichen.

Doch waren diese ersten Räderuhren höchst unpräzise – noch im 15. Jahrhundert wiesen sie eine Abweichung von bis zu 15 Minuten auf.

Das Leben konnte also – zumindest nach heutigen Maßstäben – noch gar nicht pünktlich ablaufen. Zudem herrschte an jedem Ort eine andere Zeit, weil man die Uhren ja nur in Hörweite einer Glocke gleich stellen konnte.

Das führte dazu, dass bis weit ins 19. Jahrhundert jede Region ihre eigene Zeitzone hatte, allein in den USA gab es mehr als 70 verschiedene Zeiten.

Die Industrialisierung aber zwang die Menschen schließlich zur Pünktlichkeit: weil ein Arbeiter zu Tagesbeginn an der Maschine stehen musste; weil Eisenbahnen mit genauen Fahrplänen durchs Land fuhren.

Eigens gegründete Zeit-Unternehmen sendeten nun per Telegraphenkabel regelmäßig Uhrzeitsignale: Die genaue Zeit war plötzlich Handelsware. Und

1884 wurde die *Greenwich Mean Time* zur weltweiten Standardzeit. Überall tickten die Uhren nun synchron. Das exakte Chronometer wurde zum Maßstab.

Heute sind die Europäer so sehr an die Taktung der Uhren gewöhnt, dass sie oft vergessen, dass ihr Verhältnis zur Zeit auf Menschen in anderen Kulturen manchmal extravagant wirken kann. Die Einteilung in Stunden, Minuten und Sekunden kommt einem Bewoh-

bauer im 20. Jahrhundert in Persien kurz vor der Entscheidung, ihre Arbeiter wegen Unpünktlichkeit massenhaft zu entlassen – bis sie feststellten, dass die regelmäßige zehnminütige Verspätung der Bahnarbeiter aus deren Sicht eine geradezu heroische Pünktlichkeit bedeutete.

ROBERT LEVINE hält es für falsch, Uhrzeit-Kulturen für fortschrittlicher zu erklären als Ereigniszeit-Kulturen. Er hat herausgefunden, dass an Orten mit niedrigerem Lebenstempo das Risiko für Herzkrankungen wesentlich geringer ist.

Umgekehrt sind die Menschen in den schnellen Chronometer-Kulturen zwar wohlhabender, aber auch gestresster.

Oder wie es der deutsche Philosoph Wilhelm Schmid formuliert: „In zyklischer Zeit lebt es sich sehr viel gelassener, weil man sich in Kreisläufe eingebettet fühlen kann.“

Etwas vereinfacht lässt sich sagen, dass Uhrzeit-Kulturen dazu neigen, die menschlichen Bedürfnisse zu vernachlässigen, während Ereigniszeit-Kulturen zum Teil chaotisch anmuten, aber den Menschen mehr Freiheit lassen.

Wir Europäer haben die Herrschaft der Uhrzeit so sehr verinnerlicht, dass wir nur noch selten daran denken, dass sie nicht mehr als eine Erfindung ist: ein

Gerüst, das der ewigen und zyklischen Natur übergestülpt wurde.

Und so haben wir immer mal wieder das Gefühl, Zeit zu verschwenden, obwohl uns das Beispiel der anderen Kulturen vermutlich trösten sollte.

Denn tatsächlich beginnt morgen ja fast der gleiche Tag von vorn. □

Jochen Pioch, 27, besucht derzeit den 33. Lehrgang der Hamburger Journalistenschule.

Literaturempfehlung: Robert Levine, „Eine Landkarte der Zeit. Wie Kulturen mit Zeit umgehen“, Piper München Zürich; leicht verständliche Zusammenfassung des Forschungsstandes.

Memo: ZEIT IN DEN KULTUREN

- **Wissenschaftler** unterscheiden »Uhrzeit-Kulturen«, in denen die Zeit exakt berechnet wird, von »Ereigniszeit-Kulturen«, in denen sich die Taktung des Lebens Umweltveränderungen unterordnen hat.
- **Anders als etwa Westeuropäer** sind Ereigniszeit-Menschen oft davon überzeugt, dass der morgige Tag mehr oder minder so verlaufen wird wie der heutige.
- **Ein zyklisches Weltbild** findet sich bei unzähligen Völkern: Schon die frühen Hochkulturen dachten sich das Leben als eine Abfolge von Tagen und Jahren, die nach gleichem Muster ablaufen und immer wiederkehren.
- **Seit dem Ende des Mittelalters** wird die Zeit in westlichen Städten präzise gemessen – und als bewirtschaftbares Gut angesehen.
- **Die Industrialisierung** zwang die Menschen zur Pünktlichkeit, das exakt gehende Chronometer wurde zum Maßstab aller Dinge.

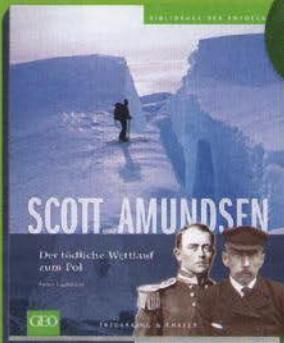
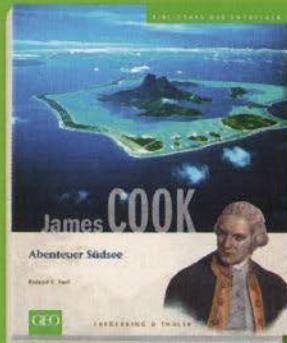
ner der Ereigniszeit-Welt unorganisch und zerstückelt vor.

Das könnte auch erklären, weshalb es bei Begegnungen zwischen Uhrzeit- und Ereigniszeit-Menschen häufig zu Missverständnissen kommt. So bemüht man sich beispielsweise in der Schweiz, zu einer Einladung auf die Minute pünktlich zu erscheinen – was anderswo ein klarer Fauxpas wäre, weil man auf völlig unvorbereitete Gastgeber trafe.

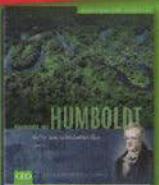
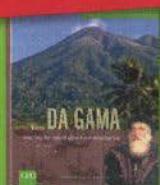
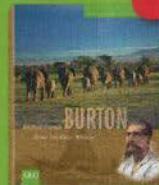
Manchmal kommt es noch schlimmer. So standen deutsche Eisenbahn-

Gehen Sie mit uns auf Expedition!

Entdecken Sie jetzt neue und beliebte GEO Shop-Produkte zum Bestellen.



Neu!



Keine Versandkosten!

14 Tage Rückgaberecht!

Bibliothek der Entdecker

Wandern Sie auf den Spuren großer Entdecker wie James Cook, Vasco da Gama und Maria Sibylla Merian! Die Bücher berichten in mitreißenden und reich bebilderten Geschichten von den weltverändernden Reisen bekannter Persönlichkeiten. Format: ca. 22,3 x 26,5 cm. 144 Seiten, Hardcover.

NEU: James Cook, Best.-Nr.: G 708000

NEU: Scott und Amundsen, Best.-Nr.: G 707900

Maria Sibylla Merian, Best.-Nr.: G 688700

Richard Francis Burton, Best.-Nr.: G 695700

Vasco da Gama, Best.-Nr.: G 695600

Alexander von Humboldt, Best.-Nr.: G 688600

Preis A: € 25,70, Preis CH: Fr. 37.90

je € 24,95



GEOlino-Brettspiel „Reise ins Tierreich“ Werden Pinguine älter als Eisvögel? Auf der Expedition um die Welt werden die Spieler vor knifflige Fragen gestellt. Wer die Antwort weiß, schätzt oder richtig auftrumpft, erhält eine der begehrten Tierkarten. Und wer zuerst 5 aus allen Kontinenten hat, gewinnt! Ab 8 Jahren.

Best.-Nr.: G 716200

Preis A: € 23,99, Preis CH: Fr. 29.90

€ 22,99



Tischaufsteller „Die Welt in 365 Fotos“ Die Hügel der Toskana, der Antelope Canyon, der Zug der Rentiere: Entdecken Sie jeden Tag grandiose Bilder der Erde mit einem informativen Kurztext. Und wenn Sie möchten, können Sie diesen außergewöhnlichen Tischaufsteller mit immerwährendem Kalenderdatum jedes Jahr aufs Neue genießen.

Best.-Nr.: G 693200

Preis A: € 20,50, Preis CH: Fr. 29.90

€ 19,95

Abonnentenpreis € 17,96



Schnell bestellen und über 190 weitere Produkte entdecken:

www.geoshop.de/kompakt

Oder per Telefon unter 01805/06 20 00**

(Bitte Aktionsnr. 700 297 angeben)

Der Uhrmacher

John Harrison zeichnete zahllose Entwürfe, ehe ihm schließlich die Konstruktion der damals genauesten Uhr der Welt gelang

Chronometer

und das Meer

Lange war es für Seefahrer unmöglich, die Position ihres Schiffes auf dem Erdball exakt zu orten, und daher die Gefahr groß, dass sie ihr Ziel nicht fanden oder an fremden Küsten Schiffbruch erlitten. Theoretisch wussten sie: Anhand der Breiten- und der Längengrade wäre die jeweilige Position zu bestimmen. Doch während sich die Breitengrade mithilfe der Gestirne leicht messen ließen, war für die Bestimmung des Längengrades ein Maß nötig, das auch auf hoher See und unter rauen Bedingungen präzise die Zeit des Heimathafens anzeigen. Für die Entwicklung einer solchen Methode setzte die englische Regierung im Jahr 1714 eine hohe Belohnung aus. Ein unbekannter Hobby-Uhrmacher machte sich daran, das Problem zu lösen. Er hieß John Harrison

Text: Ralf Berhorst

A

Anfang März 1741 erreicht ein englisches Geschwader unter Kommodore George Anson die Südspitze Feuerlands. Als die sieben Schiffe Kap Hoorn umsegeln, um in den Pazifik zu gelangen, zieht Sturm auf. Mehr als zwei Monate lang kämpft sich die Flotte gegen Eiswind, Schnee und Graupelschauer nach Westen. Hunderte Seeleute, bereits durch Ruhr und Typhus geschwächte, sterben an Skorbut oder stürzen aus der Takelage ins Meer. Im Sturm verliert Anson auf der „Centurion“ den Kontakt zu den übrigen Schiffen.

Als sich die See endlich beruhigt, befiehlt der Kapitän, Kurs nach Norden auf die Juan-Fernández-Inseln zu nehmen, einen Archipel vor der Westküste Chiles, wo es Frischwasser und Proviant gibt. Doch kennen Anson und seine Navigatoren weder die exakte Lage der Inseln noch ihre eigene Position. Wie alle Seefahrer jener Zeit vermögen sie zwar anhand des Standes der Sonne oder bestimmter Sterne über dem Horizont den Breitengrad – ihre Position in Nord-Süd-Richtung – zu ermitteln, nicht aber den Längengrad, auf dem sie segeln: also die Position des Schiffs in Ost-West-Richtung.

Am 24. Mai 1741 glaubt der Kommodore, weit genug nach Norden gekommen zu sein, um die Höhe des Archipels erreicht zu haben, der ungefähr auf dem 33. Grad südlicher Breite liegen

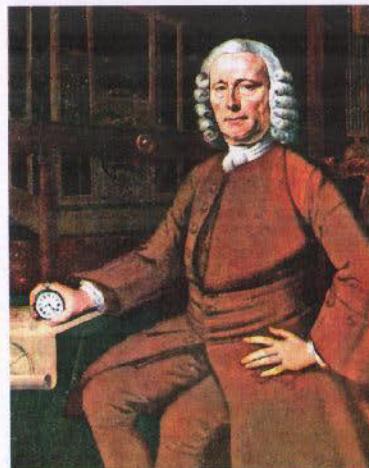
soll. Da ja der Längengrad der Juan-Fernández-Inseln nicht bekannt ist, entscheidet sich Anson für die übliche Methode: Er wird mit der „Centurion“ den Breitengrad absegeln, um so auf sein Ziel zu stoßen. Nur, in welche Richtung, westlicher oder östlicher Kurs?

Anson entscheidet sich für Westen. Es ist eine Fahrt ins Ungewisse.

Als nach vier Tagen gegen den Wind die Inselgruppe noch immer nicht am Horizont auftaucht, lässt er nach Osten umkehren. Zwei Tage später sichten seine Männer Land: die Felsküste Chiles. Anson hat die „Centurion“ vermutlich wenige Stunden vor den Juan-Fernández-Inseln kehrtmachen lassen. Abermals lässt er gen Westen segeln.

Am 9. Juni 1741 wirft sein Flaggschiff endlich Anker vor der Hauptinsel des Archipels. Allein auf der letzten Etappe der Irrfahrt sterben mehr als 70 Mann der gut 500-köpfigen Besatzung an Skorbut und Erschöpfung.

Sie verlieren ihr Leben auch deshalb, wie Tausende Seefahrer vor ihnen, weil das Problem der Längengrade nach wie vor ungelöst ist. Schon 1567 hat die Spanische Krone einen hohen Geldpreis zur Klärung des Längengrad-Rätsels ausgesetzt. Die Monarchen und Regierungen anderer Seemächte folgten mit ähnlichen Ausschreibungen. Die geschicktesten Instrumentenbauer, Astronomen und Mathematiker, berühmte



John Harrison (1693-1776) war weder Seemann noch Uhrmacher, sondern Zimmermann. Dennoch wollte er die perfekte Uhr konstruieren – und so die Navigation revolutionieren

macher aus der englischen Provinz, der auf der „Centurion“ ein erstes, allerdings noch unvollkommenes Instrument getestet hatte.

John Harrison ist der Name dieses Mannes. Der Autodidakt wird ein Verfahren zur Längenbestimmung finden, indem er einen Chronometer entwickelt, eine Uhr, die auf bis dahin unvorstellbare Weise exakt ist. Fast sein ganzes Leben wird sich der Tüftler seiner Idee widmen, sich gegen Englands wissenschaftliche Elite behaupten und um Anerkennung kämpfen müssen.

Schiffe zerschellten an Klippen, Seefahrer ertranken

Gelehrte wie Galileo Galilei versuchten sich an der Aufgabe – und scheiterten.

Gut fünf Jahre vor George Ansons Irrfahrt im Pazifik ist ein Mann auf der „Centurion“ gesegelt, der das Jahrhundertproblem schließlich lösen wird: ein Zimmermann und Hobby-Uhr-

SCHON IN der Antike warfen Geographen über ihre Karten ein Gitternetz aus senkrechten und horizontalen Linien. Daraus entstand nach und nach ein Koordinatensystem aus Längen- und Breitengraden, mit dem sich die Position eines beliebigen Objekts auf dem Erdball exakt angeben lässt (siehe Seite 108). Der griechische Astronom und Mathematiker Hipparchos verwendete um 150 v. Chr. als Erster eine Aufteilung der Welt in 360 Längen- und ebenso viele Breitengrade.

Längengrade sind Linien, die von Nord nach Süd, von Pol zu Pol verlaufen.

Ihre Abstände zueinander verringern sich vom Äquator bis hin zu den Polen, dort enden sie in einem Punkt. Breitengrade sind übereinanderliegende Parallelkreise, die den nördlichen oder südlichen Abstand zum Äquator angeben.

Für die Einteilung der Breitengrade existieren naturgegebene Bezugspunkte: Der größte Kreis ist der am Äquator; er gilt daher als Breitengrad null. Nord- und Südpol sind jeweils 90 Grad entfernt, erhalten deshalb die Angaben: 90 Grad nördlicher beziehungsweise südlicher Breite.

Dagegen gibt es für die 360 Längengrade keinen natürlichen Anfang. Der griechische Gelehrte Eratosthenes lässt um 200 v. Chr. den Längengrad null (Nullmeridian) auf einer heute verlorenen Karte durch die Insel Rhodos verlaufen; Claudius Ptolemäus versetzt ihn dreieinhalb Jahrhunderte später zunächst nach Alexandria, dann zu den Kanarischen Inseln. Auch der flämische Kartograph Gerhard Mercator beginnt die Nummerierung der Längengrade auf seiner berühmten „Weltkarte zum Gebrauch der Seefahrer“ von 1569 auf den Kanarischen Inseln.

Ab 1767 verwenden viele Kapitäne die Länge der königlichen Sternwarte

von Greenwich im Südosten Londons als Nullmeridian (eine Konvention, die erst 1885 international verpflichtend wird).

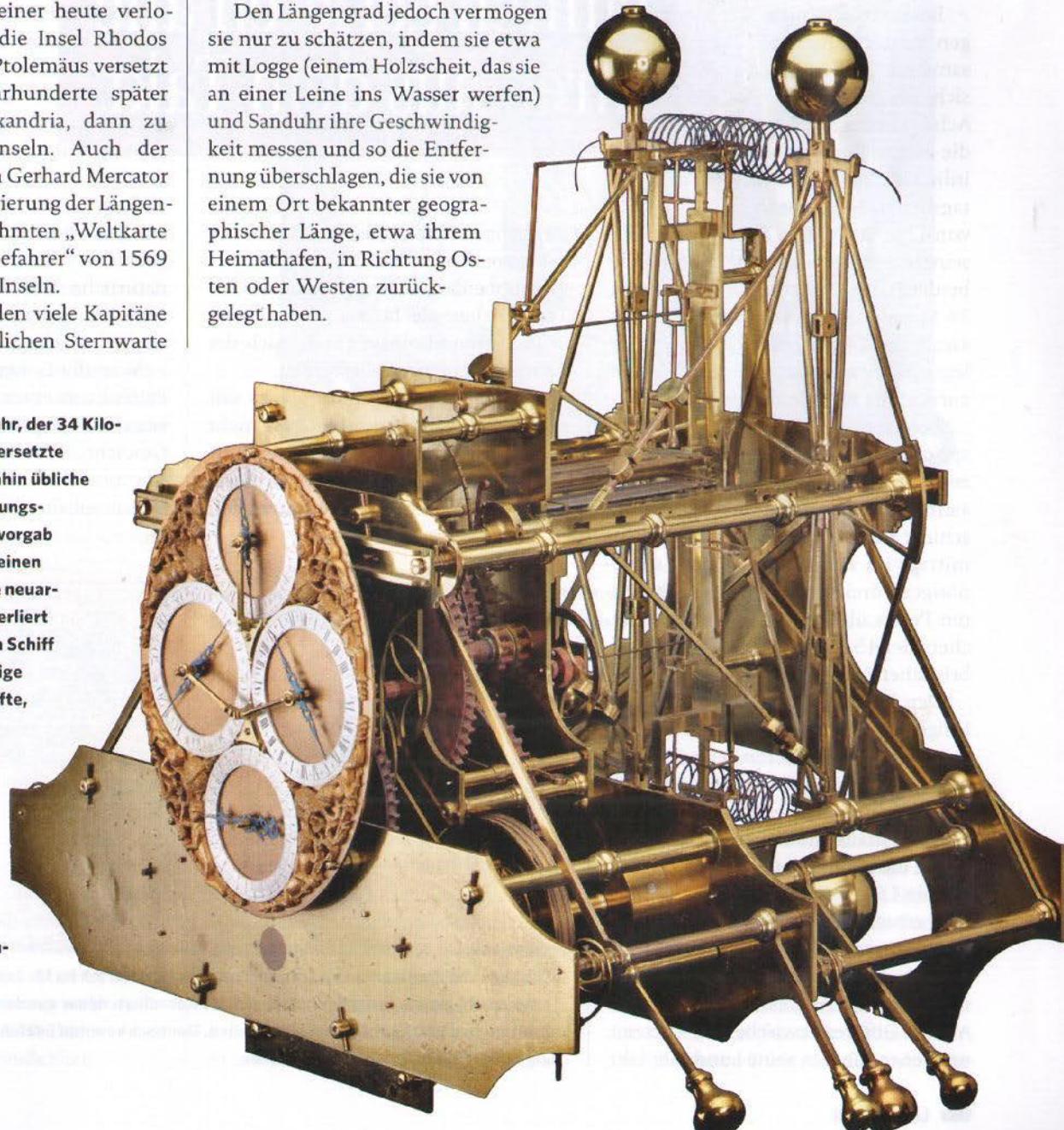
Auf festem Grund lässt sich die eigene Position bei klarem Himmel mit Beobachtungen der Gestirne und einiger Rechnerei ermitteln. Auch auf einem schwankenden Schiff vermögen Navigatoren den Breitengrad einigermaßen genau zu bestimmen. Dazu messen sie bei Dämmerung oder nachts mit astronomischen Geräten die Höhe des Polarsterns (der bei unbewölktem Himmel fast überall von der nördlichen Halbkugel zu sehen ist) oder die der Sonne zur Mittagsstunde über dem Horizont. Mit Zahlentabellen können sie daraus den eigenen Breitengrad bestimmen.

Den Längengrad jedoch vermögen sie nur zu schätzen, indem sie etwa mit Logge (einem Holzscheit, das sie an einer Leine ins Wasser werfen) und Sanduhr ihre Geschwindigkeit messen und so die Entfernung überschlagen, die sie von einem Ort bekannter geografischer Länge, etwa ihrem Heimathafen, in Richtung Osten oder Westen zurückgelegt haben.

Da dieses Verfahren sehr ungenau ist, segeln Kapitäne oft lieber mit Blickkontakt zum Land, tasten sich von Insel zu Insel vor oder navigieren „nach der Breite“: Sie steuern einen Punkt von bekannter Breite an und fahren von dort immer auf denselben Breitengrad, bis sie auf Land stoßen. So hat es Kommodore George Anson mit der „Centurion“ gehalten und vermutlich auch Christoph Kolumbus bei seiner ersten Fahrt nach Amerika.

Weil viele Schiffe auf den wenigen bekannten Routen segeln, werden sie leicht die Beute von Piraten oder feindlichen Kriegsparteien. Und immer wieder zerschellen Boote oder laufen auf

In seiner ersten Schiffsuhr, der 34 Kilogramm schweren „H1“, ersetzte Harrison 1735 das bis dahin übliche Pendel, dessen Schwingungsdauer das Maß der Zeit vorgab (siehe Seite 114), durch einen anderen Taktgeber, eine neuartige Unruh. Ein Pendel verliert auf einem schlingernden Schiff schnell seine gleichmäßige Bewegung. Harrison hoffte, dass die von ihm entwickelte Unruh aus zwei miteinander verbundenen Messingstangen Bewegungen und Stöße abfederte, sodass die Uhr selbst auf hoher See nicht aus dem Rhythmus kam. Doch die H1 maß die Zeit noch nicht exakt genug und war zudem sehr klobig



Grund, weil die Navigatoren unterwegs die Orientierung verloren und ihre Länge falsch geschätzt haben.

Neben Spanien setzen daher bald auch Portugal, Venedig, Holland und Frankreich Preise oder Belohnungen für denjenigen aus, dem es gelingt, das Problem der Längenbestimmung auf See zu bewältigen.

Der Theorie nach ist die Lösung schon seit 1530 bekannt. Ein friesischer Mathematiker und Kartograph hat damals beschrieben, dass sich die geografische Länge eines Ortes über die Zeit bestimmen lässt.

Beide Größen hängen unmittelbar zusammen: Da die Erde sich um die eigene Achse dreht, scheint die Sonne für einen irdischen Beobachter tagsüber am Himmel

von Ost nach West zu wandern. Für seine scheinbare Umrundung der Erde benötigt das Zentralgestirn fast genau 24 Stunden. In dieser Zeit passiert es sämtliche 360 Längengrade. Pro Stunde legt die Sonne also 15 Grad Länge zurück, alle vier Minuten einen Grad.

Wegen dieser Gesetzmäßigkeit entspricht die Längendifferenz zwischen zwei Orten auf der Erdkugel exakt dem astronomisch gemessenen Zeitunterschied: Steht die Sonne um zwölf Uhr mittags im Zenit über London, so benötigt sie drei Stunden, um ihren höchsten Punkt über einem Punkt zu erreichen, der 45 Längengrade westlich der britischen Hauptstadt liegt.

Den Zusammenhang von Zeit und Länge könnte ein Navigator nutzen: Er müsste nur, wenn er mit seinem Schiff etwa im Hafen von London anlegt, eine Uhr mitnehmen, die exakt weiterläuft und ihm draußen auf dem Atlantik weiterhin die Londoner Ortszeit anzeigt.

Sein Längengrad ließe sich ganz einfach errechnen: Er müsste nur die aktuelle Uhrzeit seines Standpunktes auf dem Meer mit einem nautischen Instrument anhand der Gestirne bestimmen. Aus der Differenz zwischen der Ortszeit und jener, die ihm seine Londoner Uhr

weiter anzeigt, könnte er den Längenunterschied zum Heimathafen ableiten.

In der Theorie ist das Jahrhundertproblem also gelöst. Doch dazu braucht man eine Uhr, die auch nach Monaten die Ortszeit des Abfahrthafens exakt anzeigt – trotz der Bewegungen des Schiffes, der Schwankungen von Luftdruck, Temperatur und Erdanziehung.

1530 erscheint es utopisch, jemals eine Schiffsuhr von solcher Präzision

Längengraden – der Entfernung zwischen Kontinenten.

1656 versucht der niederländische Astronom und Mathematiker Christiaan Huygens, eine Uhr zu bauen, die präzis genug ist, um auf Schiffen eingesetzt zu werden. Huygens verwendet, inspiriert durch Studien Galileo Galileis, für seine Uhr einen neuartigen Gangregler – das ist jenes Bauteil des Uhrwerks, das eine regelmäßige periodische Bewegung ausführt, also den Takt der Uhr vorgibt und so im eigentlichen Sinn die Zeit misst.

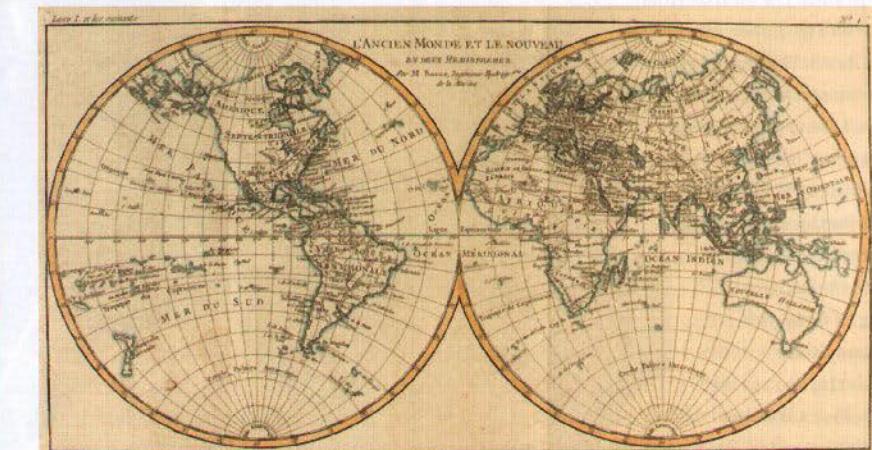
Bis dahin hat ein Schwingbalken diesen Zweck erfüllt (oder ein vor- und zurück schnellendes Rad: eine einfache „Unruh“). Huygens wählt nun ein Pendel als Gangregler. Schlägt es zu einer Seite, so bewirkt

im Unterschied zu den älteren Taktgebern – allein die Schwerkraft als natürliche Rückholkraft, dass es in seine Ausgangslage zurückkehrt. So sind seine Schwingungen sehr genau.

Wie alle Gangregler wird auch das Pendel von einer Kraftquelle gespeist, etwa einer gespannten Feder oder einem Gewicht. Verbunden werden beide Komponenten durch ein weiteres Uhrenbauteil, die Hemmung: Sie begrenzt

zu fertigen: Mechanische Uhren, die spätestens seit dem 13. Jahrhundert gebaut werden, sind sehr ungenau. Pro Tag weichen sie bis zu einer halben Stunde ab und müssen stets nach der Sonnenzeit neu gestellt werden.

Auch die Taschenuhren, die es seit etwa 1500 gibt, funktionieren nicht besser. Selbst auf kurzen Seereisen summieren sich die Ungenauigkeiten dieser Zeitmesser rasch zu Aberdutzenden



Die Lage von Kontinenten und Inseln verzeichneten Karten im 18. Jahrhundert schon recht genau. Jeder Punkt ließ sich als Koordinatenpaar aus den 180 ganzzahligen Breiten- und 360 Längengraden darstellen. Dennoch konnten Seefahrer die eigene Position nicht exakt bestimmen

den Ausschlag des schwingenden Pendels und versetzt ihm auf dem Rückweg über ein Zahnrad jenen kleinen zusätzlichen Energieschub, der den Reibungsverlust ausgleicht und so verhindert, dass es nach kurzer Zeit stehen bleibt.

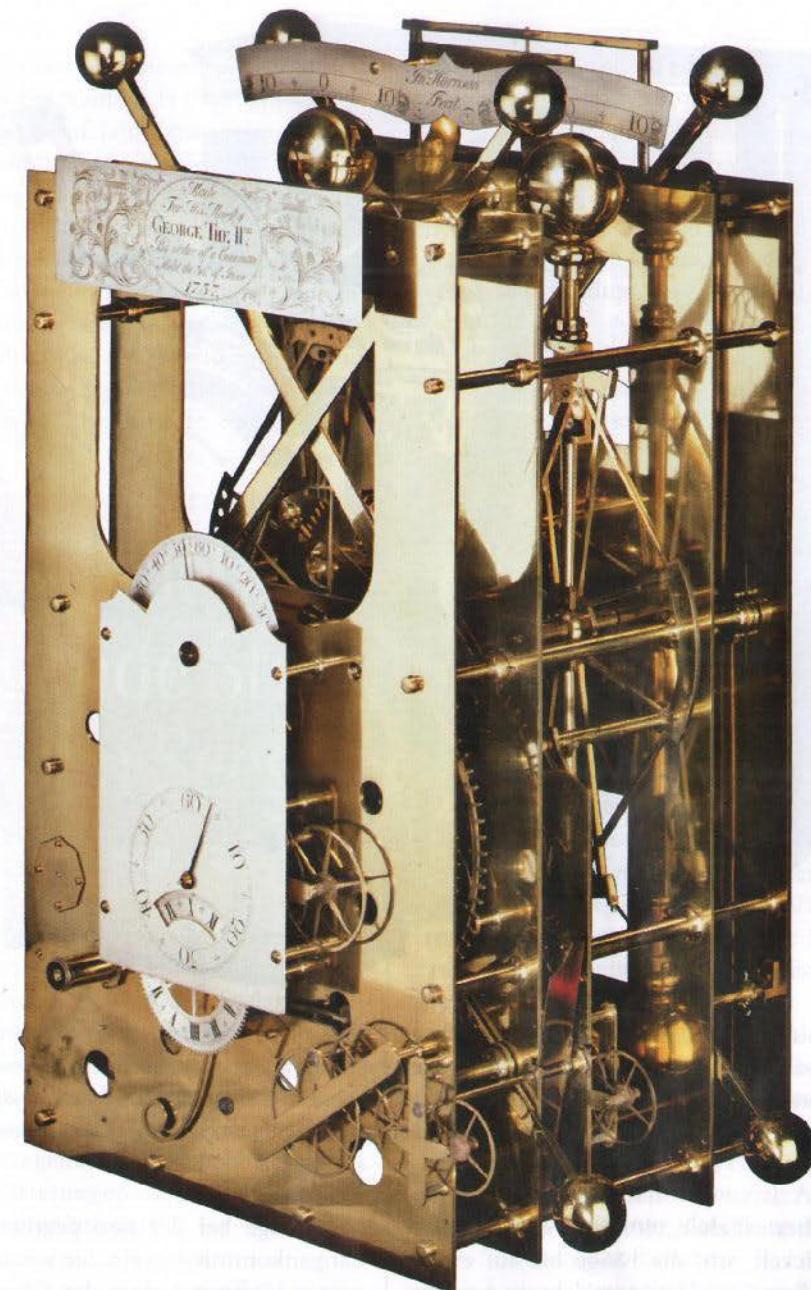
Die Dauer einer solchen Pendelschwingung ist unter gleichbleibenden äußereren Bedingungen konstant, kann also als Zeitmaß dienen: Sie wird vor allem durch die Länge des Pendels festgelegt und ist unabhängig sowohl von dessen Masse als auch davon, wie weit es zu einer Seite schwingt.

Die Verbesserung ist erstaunlich: Die Huygens-Uhr weicht pro Tag weniger als eine Minute ab. Doch für eine Schiffsuhr zur Längengradmessung ist selbst diese Präzision nicht hinreichend.

Auf einem schlingenden Schiff würde das Pendel der Uhr schnell aus dem Takt geraten. Zudem wirkt die Erdanziehung nicht überall gleich stark, und auch der Luftdruck verändert die Pendelbewegung. Ein weiterer Nachteil: Die Geschwindigkeit eines Pendels kann von der Temperatur beeinflusst werden – je mehr sich ein Pendelstab erwärmt, desto mehr dehnt er sich aus, nimmt an Länge zu und schwingt folglich langsamer. Die Uhr würde nachgehen. Einer Reise aus dem europäischen Winter in tropische Gefilde wäre die Präzisionsuhr daher nicht gewachsen.

1675 ERSETZT Huygens das Pendel durch eine weiterentwickelte Unruh: ein liegendes Schwungrad, das durch eine gewundene Spiralfeder regelmäßig vor- und zurückschnebelt (so wie das Pendel hin- und herschwang) und dem etwa mithilfe eines Federantriebs Energie zugeführt wird. Mit ihr lassen sich handliche Taschenuhren bauen, die pro Tag weniger als eine Minute verlieren oder gewinnen. Aber auch die Huygens-Spiralfeder reagiert höchst empfindlich auf Temperaturschwankungen.

Als 1707 vier britische Kriegsschiffe an den Klippen der Scilly-Inseln vor der Südwestküste Englands zerschellen und fast 2000 Seeleute ertrinken, weil der Admiral der Flotte und seine Offiziere im Nebel die Orientierung verloren haben, gerät das ungelöste Problem erneut in den Fokus der Öffentlichkeit.



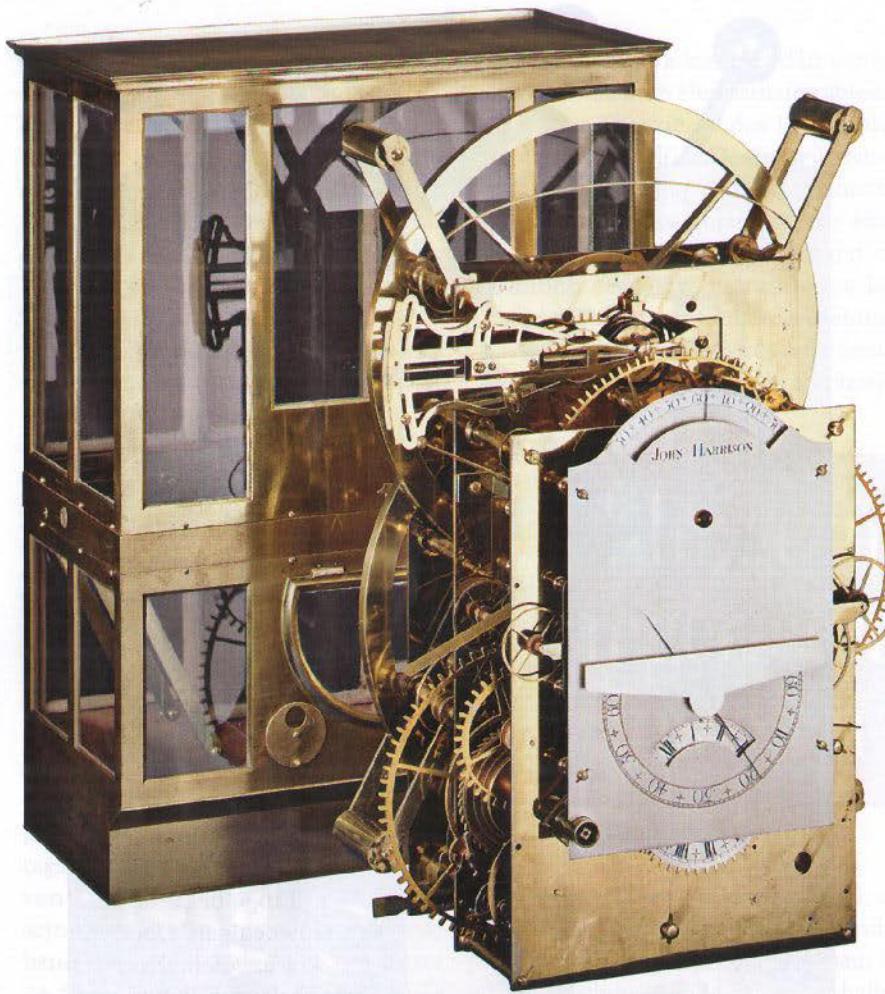
Harrisons zweites Uhrenmodell, die H2 von 1739, enthielt weitere technische Neuerungen, beispielsweise den Aufziehmechanismus mithilfe eines Schlüssels, der die früheren Seile ersetzte. Doch für die Seefahrt war auch sie ungeeignet – zu stark reagierte sie auf Schiffsbewegungen

Zwei Mathematiker machen sechs Jahre später einen ungewöhnlichen Vorschlag: Man solle entlang der atlantischen Handelsrouten festliegende Signalschiffe postieren, die regelmäßig Knallkörper und Leuchtkugeln als Zeitsignale in den Himmel abfeuern. So könnten Navigatoren auf vorbeifahrenden Schiffen ihre Position bestimmen.

Der Vorschlag erweist sich rasch als unpraktikabel – schon deshalb, weil der Atlantik an vielen Stellen so tief ist, dass

Anker keinen Grund finden würden. Doch die beiden Gelehrten können durch ihre Beharrlichkeit Kaufleute sowie die Kapitäne von Handels- und Kriegsschiffen zu einer Petition an die englische Regierung bewegen. Sie soll einen Preis zur Lösung des Längenproblems ausschreiben.

Und tatsächlich, 1714 verabschiedet das Parlament den „Longitude Act“. Der Erlass sieht drei gestaffelte Prämien vor: Den höchsten Preis soll derjenige For-



Nach fast 20-jähriger Arbeit stellte Harrison 1759 sein drittes Modell vor. Doch er hatte sich verzettelt, die H3 erreichte nie die gewünschte Präzision. Manche seiner Neuerungen inspirierte immerhin andere Erfinder: etwa ein Streifen Bimetall, das die Uhr weniger empfindlich gegen Temperaturschwankungen macht – und noch heute Toaster und Bügeleisen steuert

scher erhalten, der ein Verfahren entwickelt, um die Länge bis auf einen halben Grad (das entspricht am Äquator 30 Seemeilen oder 55,5 Kilometern) genau zu bestimmen. Die volle Summe von 20 000 Pfund (ein Arbeiter verdient zu jener Zeit selten mehr 50 Pfund pro Jahr) werde ausgezahlt, sobald „die Methode auf See erprobt und für praktikabel und nützlich befunden wurde“.

Sie müsse sich auf einer Reise von England zu den Westindischen Inseln bewähren. Das heißt: Eine Schiffsuhr dürfte während der 60-tägigen Reise nicht mehr als zwei Minuten vor- oder nachgehen: zwei Sekunden pro Tag.

1714 erscheint diese Genauigkeit unerreichbar. Selbst Uhren höchster Qualität gehen täglich um Minuten falsch. Zahlreiche Uhrmacher, aber auch Scharlatane und Wirrköpfe reichen

Vorschläge bei der neu gegründeten Längenkommission ein. Sie wecken so wenig Hoffnung, dass das Gremium nicht einmal offiziell zusammentritt.

Isaac Newton, der bedeutendste Gelehrte seiner Zeit, erklärt 1725, die Länge könne auf See „nicht allein mit Hilfe einer Uhr gefunden werden“.

EIN JAHR NACH NEWTONS Verdikt hört ein Mann aus der Provinz erstmals von dem Längenpreis: John Harrison, ein 33-jähriger Schreiner und Amateur-Uhrmacher, der in einem Dorf im Norden Lincolnshires lebt. Im gleichen Jahr ist seine junge Frau gestorben. Der Sohn eines Zimmermanns und Kirchenangestellten hat nie eine Schule besucht, sein Vater hat ihm etwas Elementarunterricht erteilt. Naturwissenschaften standen dabei wohl nicht auf dem Lehrplan.

Einem Geistlichen aber ist die Neugier des Jungen aufgefallen. Er lehrt John die Mitschrift einer Vorlesung über die Newton'sche Naturphilosophie, die das Weltbild der Zeit zusammenfasst; vermutlich mit Kapiteln über Astronomie, Mechanik, Optik und die Gezeiten. Der Junge schreibt das Manuskript ab und vertieft sich immer wieder hinein.

Dennoch bestimmt ihn der Vater zum Schreiner. Der junge Harrison erweist sich als genialer Autodidakt: Mit 20 baut er – ohne je bei einem Uhrmacher in die Lehre gegangen zu sein – eine Standuhr, die fast vollständig aus Holz besteht. Eine erste Talentprobe.

Sein Geschick spricht sich herum: Einige Jahre später erhält Harrison den Auftrag, in einem Nachbarort eine Turmuhr zu konstruieren.

Für deren Mechanik erfindet er eine neuartige Hemmung. Dieses Bauteil, das die von einem Gewicht oder einer Feder in Gang gesetzte Bewegung des Räderwerks überträgt, bewirkt auch einen immer gleichmäßigen, schrittweisen Ablauf des Uhrwerks – sodass es etwa nicht zu rasch abläuft. Neu an Harrisons Hemmung: Sie muss nicht geölt werden. Schmieröle, die damals meist aus Tierfett produziert werden, verdicken oder verharzen leicht, eine Ursache für den Ausfall oder die Ungenauigkeit von Uhren. (Harrisons Turmuhr läuft bis auf den heutigen Tag, ohne dass sie je mit einem einzigen Tropfen Öl geschmiert werden musste.)

Den Erfinder muss dieser Erfolg ungeheuer ermutigt haben, denn um 1720 versucht er sich auch an Präzisionspendeluhrn, gut mannshohen Zeitmessern in reich verzierten Holzgehäusen.

Und er macht dabei eine große Entdeckung: Er findet einen Ausgleich für die Temperaturschwankungen, die die Länge eines Pendelstabs verändern, dadurch seine Schwingungen verkürzen oder verlängern und die ganze Zeitmessung aus dem Takt bringen.

Dazu konstruiert er einen Pendelstab, der wie ein Rost aus mehreren Messing- und Stahlstäben zusammengesetzt ist. Beide Metalle reagieren unterschiedlich auf Wärme und Kälte. Harrison montiert die Stäbe so, dass ihre Ausdehnung sich gegenseitig ausgleicht. Die effektive Länge des Pendels, der entscheidende

Abstand zwischen Aufhängung und Schwerpunkt, bleibt so stets gleich. Es schwingt immer im selben Takt.

Damit hat er ein Problem gelöst, an dem der große Huygens verzweifelt war. Harrisons Präzisionsuhr weicht nur eine Sekunde pro Monat ab. Sie ist besser als alle in London – dem Zentrum der Uhrmacherkunst – gefertigten Zeitmesser.

Harrison beginnt zu planen: Seine Uhr soll die Zwei-Sekunden-Vorgabe des Longitude Acts sogar unterbieten. Dann kann er hoffen, bald ein reicher Mann zu sein – wenn es ihm gelingt, aus seiner stationären Pendeluhr eine Schiffsuhr zu machen, die auch auf einem stampfenden Segler gleichmäßig schlägt.

Doch die vielen Materialien und Arbeiten sind teuer, und so reist Harrison mit seinen Entwürfen nach London, um Unterstützung zu erbitten. Er spricht vor bei Edmond Halley, dem Königlichen Astronomen der Sternwarte in Greenwich, einem Mitglied der Längenkommission.

Halley schickt ihn zu George Graham, dem bekanntesten Uhrmacher und Instrumentenbauer Londons. Harrison, ein misstrauischer Mann mit einer fast paranoiden Furcht vor Nachahmern, ist verstimmt, dass er seine Aufzeichnungen einem Konkurrenten offenlegen soll. Zudem besitzt er nicht die Gabe, gewinnend aufzutreten. Und er redet oft in weitschweifigen, unverständlichen Sätzen.

So kommt es rasch zu einem unerfreulichen Wortwechsel mit dem Experten – dann aber wendet sich die Stimmung. Beim Blick in Harrisons Papiere begreift Graham, dass dem Provinzler mit dem Temperaturausgleich für Pendeluhr ein Durchbruch gelungen ist. Er bietet ihm ein Darlehen als Unterstützung an.

Ermutigt kehrt Harrison in seine Werkstatt zurück und beginnt an einer Uhr zu bauen, die gut genug sein soll, um den Längenpreis zu gewinnen (ein

Restaurator wird diesem ersten Modell später den Namen „H 1“ geben).

Etwa fünf Jahre lang hört man in London nichts von dem Sonderling. 1735 ist die H 1 fertig: 63 Zentimeter hoch, 70 Zentimeter breit, 45 Zentimeter tief – und 34 Kilogramm schwer.

Das Ungetüm aus Messing wird von einer Feder statt von einem Gewicht angetrieben. Das auf See ebenfalls untaugliche Pendel hat der Uhrmacher durch eine besonders gebaute Unruh ausgetauscht: zwei große Messingstangen, die im Sekundentakt gegeneinander schwingen und an den Enden durch Spiralfedern sowie in der Mitte durch Metallbänder verbunden sind.

Dadurch soll jeder äußere Stoß, der auf eine der Stangen einwirkt, durch eine Gegenkraft aufgehoben werden. Erschütterungen scheinen der H 1 nichts anzuhaben.

Harrison testet seine Schiffsuhr auf einem Fluss, auf den er hinausrudert. Mit dem Ergebnis ist er so zufrieden, dass er mit der H 1 nach London reist und sie George Graham sowie zahlreichen Forschern der Royal Society präsentiert, Englands vornehmster Gelehrten gesellschaft. Dort ist das Erstaunen über die Wundermaschine groß.

Die Admiraltät fordert Harrison auf, sich zu einer ersten, halboffiziellen Testfahrt bereitzuhalten. Ein Jahr später,

im Mai 1736, findet sich Harrison mit seiner Uhr an Bord der „Centurion“ ein – jenem Kriegsschiff, mit dem gut vier Jahre später Kommodore George Anson zu seiner verhängnisvollen Irrfahrt in die Südsee aufbrechen wird.

Von Spithead, einem Hafen nahe Portsmouth, geht es nach Lissabon, dessen geographische Länge bekannt ist. Während der einwöchigen Überfahrt ist das Wetter so stürmisch, dass Harrison von Seekrankheit geplagt wird.

Keine gesicherten Berichte über den Zeitvergleich im Ankunftshafen haben überdauert. Vor der Rückfahrt nach England wird die H 1 auf Lissaboner Zeit umgestellt. Und da zeigt Harrisons Ungetüm erstmals sein Potenzial: Am Eingang zum Englischen Kanal kann der

Federantrieb und schwingende Stangen gegen den Seegang



Durch das königliche Observatorium in Greenwich bei London verläuft der Längengrad null. Seit 1767 nutzen viele Seefahrer diesen willkürlich festgelegten Referenzwert, von dem sich alle übrigen Längengrade ableiten

Erfinder dem Kapitän durch Berechnungen mit der H1 beweisen, dass das Schiff etwa 60 Seemeilen südwestlicher als gedacht auf gefährlichem Kurs segelt. Noch gerade rechtzeitig leitet die Mannschaft ein Ausweichmanöver ein.

Doch lassen Logbucheinträge des Kapitäns vermuten, dass Harrisons Uhr auf der Hinfahrt bedenkliche Schwächen offenbart; einige Positionsbestimmungen mit Hilfe der H1 erweisen sich anscheinend als recht ungenau.

Dennoch tritt am 30. Juni 1737 die Längenkommission erstmals offiziell zusammen, um über die Resultate zu beraten. Der Mann aus Lincolnshire scheint auf dem richtigen Weg zu sein – auch wenn seine Uhr noch unpräzise arbeitet und viel zu wuchtig gebaut ist.

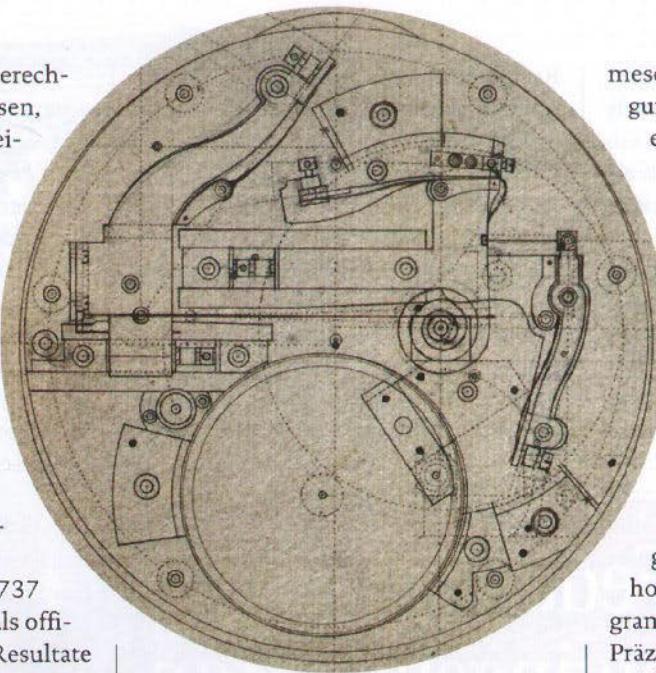
Harrison, der inzwischen wieder geheiratet hat und nun in London lebt, erhält 250 Pfund als Unterstützung, um ein Nachfolgemodell zu bauen.

FÜNF JAHRE zieht der Erfinder sich in seine Werkstatt zurück. 1741 steht er wieder vor der Längenkommission. Die H2 nimmt nur halb so viel Raum ein wie ihre Vorgängerin, ist allerdings fünf Kilogramm schwerer. Aber sie ist raffinierter konstruiert; wird beispielsweise mit einem Schlüssel statt mit einer Schnur aufgezogen.

Eine besondere Vorrichtung, ein sogenannter Zwischenauflzug, bewirkt, dass bei der Übertragung der Antriebskraft und beim Abgleich von Temperatur- und Luftdruckänderungen weniger Ungenauigkeiten entstehen.

Offenbar hat der Tüftler aber schon die Unzulänglichkeiten

seines Modells erkannt: Denn die Unruhen der H2 reagieren auf äußere Bewegungen, was wohl mit der Wirkung von Zentrifugalkräften zusammenhängt. Für eine offizielle Testfahrt ist die Uhr vollkommen ungeeignet. Harrison



Bei einem Test wichen die H4 – hier eine Konstruktionszeichnung – nach 147 Tagen auf See noch nicht einmal zwei Minuten ab. Eine Präzision, für die Harrison insgesamt 23 000 Pfund zugesprochen wurden

muss ganz von vorn anfangen; dennoch gewährt ihm die Längenkommission weitere 500 Pfund.

Nun beginnt die rätselhafteste Periode seines Lebens. Harrison scheint sich heillos zu verzetteln und über seinen Schraubereien völlig die Zeit zu vergessen: Er baut 19 Jahre lang an der H3. Zwar gelingen ihm in dieser Zeit zwei

meschwankungen so, dass seine Bewegung auf eine verbundene Unruhfeder einwirkt, sie verkürzt oder verlängert und so deren Reaktion auf Hitze oder Kälte ausgleicht.

Zum anderen konstruiert er einen Vorläufer des heute gebräuchlichen Kugellagers; Teile seines Uhrwerks laufen nun fast reibungslos und brauchen keine Schmierung.

Sonst aber ist Harrisons „merkwürdige dritte Maschine“, wie er sie selbst nennt, die größte Enttäuschung seines Lebens. Die große Uhr (sie ist 59 Zentimeter hoch und wiegt mit Gehäuse 43 Kilogramm) tickt nie mit der gewünschten Präzision. Der Erfinder hat zwei große radförmige Unruhen verwendet, die übereinander angebracht und über dünne Metallbänder verbunden sind. Ihm gelingt es aber nie, ausreichende Schwingungsgleichheit zwischen den beiden Rädern zu erzeugen (die Ursache ist, wie man heute weiß, jene kurze Spiralfeder, die die Schwingungen der Unruhen steuert und über deren physikalische Eigenschaften im 18. Jahrhundert kaum etwas bekannt ist).

Harrison muss etwas Neues ausprobieren. Während er noch an der H3 arbeitet, hilft ihm der Zufall: Um 1751 lässt er sich nach eigenen Entwürfen von einem Uhrmacher eine Taschenuhr anfertigen, die er selber vollendet. Die

tragbaren Zeitmesser gelten eigentlich als besonders unzuverlässig. Bis dahin sind sie gewöhnlich mit einer leichten und langsam schwingenden Unruh ausgestattet worden. Harrisons Entwurf sieht jedoch als Unruh eine Art liegendes Rad vor, das schwerer ist, daher mehr Bewegungsenergie speichern kann

und besonders rasch hin- und herschwingt: fünf Mal pro Sekunde.

Nun zeigt sich, dass die Taschenuhr damit viel genauer geht. Nach fast drei Jahrzehnten begreift Harrison: Die Schiffsuhr muss eine kleine Uhr sein.

Erst Harrisons vierter Versuch führt zum Durchbruch

revolutionäre Entdeckungen: Zum einen erfindet Harrison eine Art Temperaturregler für Uhren mit Unruh – den Bimetallstreifen, ein aus flachem Messing und Stahl zusammengenietetes Metallstück. Es verbiegt sich bei Wär-

In der Größe einer Taschenuhr, mit besonders schnell schwingender Unruh.

1755 beginnt er an der H4 zu bauen.

DOCH NUN SCHEINT ihm seine Langsamkeit zum Verhängnis zu werden. Denn nicht nur Uhrmacher konkurrieren um den Längenpreis, sondern auch Astronomen. Sie setzen auf die sogenannte Monddistanzmethode. Dabei bedienen sie sich des Himmels als eines gigantischen Uhrwerks.

Die Grundidee ist seit 1514 bekannt: Man könnte zur Längenbestimmung auf See auch ein astronomisches Ereignis verwenden, das zeitgleich von zwei verschiedenen Orten des Erdballs beobachtet werden kann.

Wenn etwa der Navigator eines Schiffes am Firmament eine Mondfinsternis beobachtet, von der er weiß, dass sie zu einer genau vorhergesagten Uhrzeit von London aus zu sehen ist, dann müsste er nur noch seine eigene Ortszeit bestimmen und könnte über die Differenz zur Londoner Zeit seine aktuelle Länge errechnen.

Verfinsterungen des Mondes sind allerdings sehr selten; auch die häufigeren Bedeckungen der Jupitermonde sind von einem Schiff aus für eine Positionsbestimmung so gut wie unbrauchbar.

Jedoch bewegt sich der Mond aus der Sicht eines Erdbewohners mit einer bestimmten Geschwindigkeit durch

das Feld der Fixsterne, die stillzustehen scheinen. Der Trabant legt dabei pro Stunde ungefähr eine Strecke zurück, die seinem eigenen Durchmesser entspricht: Man kann das Firmament also wie ein riesiges Zifferblatt lesen, mit dem Mond als Zeiger sowie den Sternen und der Sonne als Ziffern.

So weit die Idee – die allerdings in der Praxis lange Zeit auf schier unüberwindliche Schwierigkeiten stößt: Denn die Bewegung des Mondes, des „Zeigers“, ist für die Astronomen schwer vorherzusagen. Zudem ist über die genauen Positionen der Fixsterne, der „Ziffern“, zu wenig bekannt.

Und es fehlt ein Messinstrument, das ausreichend präzise ist, um von einem Schiff aus Winkel und Abstände zwischen dem Mond und anderen Gestirnen zu messen.

Im Jahr 1667 ist bereits in Paris eine Sternwarte gegründet worden, um astronomische Daten für die Monddistanzmethode zu sammeln; 1675 das Observatorium von Greenwich. 1725 erschien ein erster Sternenkatalog, sechs Jahre später wurde mit dem Spiegelquadranten ein neues Messinstrument für Navigatoren erfunden, das die Himmelsbeobachtung auf See vereinfacht.

Und 1755, als Harrison sich an die Konstruktion der H4 macht, löst der deutsche Astronom und Mathematiker Tobias Mayer das letzte Problem: Ihm

gelingt es, die Bewegungen des Mondes und der Sonne genau vorherzusagen.

Im Jahr darauf legt Mayer der Längenkommission einige Tafeln mit genauen zeitlichen Angaben über bestimmte Mond-Sterne-Konstellationen für die Positionsbestimmung auf See vor. In dem Gremium sind einflussreiche Astronomen vertreten, die ohnehin mit der Monddistanzmethode sympathisieren.

John Harrison, der seit 30 Jahren erfolglos an einer Schiffsuhr tüftelt, droht ins Abseits zu geraten.

DIE FORTSCHRITTE seiner Konkurrenten sind ihm gewiss nicht entgangen. Doch der beharrliche Mann lässt sich nicht aus der Ruhe bringen. Er baut weiter an seiner Uhr.

Ihre Unruh ist so konstruiert, dass sie – wie in der zuvor gebauten Taschenuhr – 300-mal pro Minute schwingt. Ein Bimetallstreifen gleicht Temperaturschwankungen aus. Für viele Lager des Räderwerks verwendet Harrison kleine Edelsteine, um die Reibung auf ein Minimum zu verringern. Für die Hemmung schleift er sogar kleine Diamanten zurecht, die als Haken in die Zähne des Räderwerks greifen – wie es ihm gelingt, diese Präzisionsteile zu formen, ist bis heute ein Rätsel.

Schließlich umgibt er die Uhr mit einem schützenden Doppelgehäuse aus reinem Silber und graviert sie innen mit

Ein kleines, schwingendes Rad, Bimetallstreifen und Edelsteinlager machten die 1759 fertiggestellte H4 zur präzisesten Uhr ihrer Zeit



seinen Initialen. Dann ist die H4 fertig: eine Taschenuhr von 13 Zentimeter Durchmesser mit einem Gewicht von 1450 Gramm.

Im Juli 1760 präsentiert Harrison sein Meisterstück der Längenkommision. Im Jahr darauf ist es endlich so weit: Die H4 soll sich auf einer offiziellen Testfahrt zu den Westindischen Inseln bewähren, so wie im Longitude Act von 1714 festgelegt. Die Reise mit der H4 soll Harrisons Sohn William antreten – offenbar fühlt sich der inzwischen

68-jährige Uhrmacher zu alt für die lange Überfahrt nach Jamaika.

Vor der Abfahrt am 18. November 1761 wird die Uhr in Portsmouth auf die astronomisch ermittelte Ortszeit eingestellt. Zwei Monate und einen Tag später erreicht das Schiff Jamaika.

Mit an Bord reist ein Astronom, der auf der Karibikinsel, deren geographische Länge bekannt ist, die Ortszeit ermitteln wird. Das offizielle Ergebnis des Zeitvergleichs soll allerdings erst nach der Rückkehr berechnet werden.

Nach Williams eigenen Kalkulationen ist die H4 während der gesamten Hinreise nur um 5,1 Sekunden falsch gegangen – der Longitude Act erlaubt für den ersten Längenpreis eine Abweichung von unter 120 Sekunden.

Neun Tage später geht es bei stürmischem Wetter auf einer kleinen Sloop zurück nach England. William muss die H4 manchmal in Decken wickeln, weil Seewasser knietief in die Kapitänskajüte eindringt, wo die Uhr aufgestellt ist.

Nach der Ankunft in Portsmouth errechnet William, dass die H4 während der gesamten Hin- und Rückreise von 147 Tagen nur 1 Minute und 54,5 Sekunden fehlgegangen ist. Die Uhr seines Vaters war also selbst auf der doppelten Distanz (für den Test soll nur die Hinfahrt berücksichtigt werden) besser als im Longitude Act vorgeschrieben.

Der Erfinder und sein Sohn machen sich Hoffnungen auf das Preisgeld von 20 000 Pfund.

Nun aber erhebt die Längenkommision Einwände: Harrison habe die „Fehlerrate“ der Uhr vorher nicht angegeben.

Das ist ein vertracktes Problem, welches das Gremium zuvor wohl nicht beachtet hat: Auch Präzisionsuhren lassen sich zu jener Zeit nicht genau einstellen, sie gehen mit einer bestimmten Fehlerrate täglich vor oder nach.

Ist dieser „Gang“ genannte Fehler – beispielsweise zwei Sekunden in 24 Stunden – Tag für Tag und bei gleichen äußeren Bedingungen konstant, ist er beherrschbar, man muss ihn nur von der angezeigten Zeit abziehen (oder hinzuzaddieren), um die tatsächliche Genauigkeit der Uhr beurteilen zu können.

Die Kommission ist argwöhnisch: Vielleicht verdankt sich die Präzision der H4 ja nur einem glücklichen Zufall.

Sie schickt die Testergebnisse an drei Mathematiker zur Überprüfung. Doch die Zahlen werden niemals veröffentlicht, sie gehen sogar verloren.

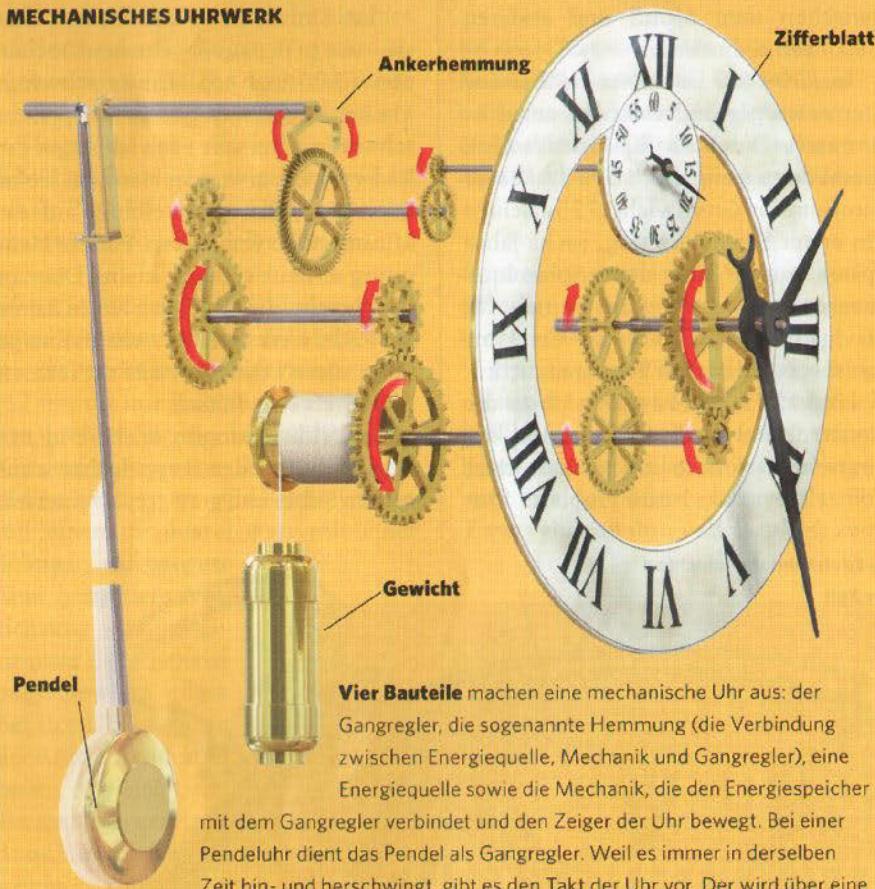
Schließlich erklärt die Längenkommision die Versuchsergebnisse kurzerhand für unbrauchbar. Und verlangt eine Wiederholung des Tests.

JOHN HARRISON und sein Sohn sind verbittert; nur widerwillig stimmen sie einer erneuten Testfahrt zu. Etwa zwei Jahre dauert es bis zur Abreise.

Was die mechanische Uhr zum Ticken bringt

Das regelmäßige Schwingen eines Taktgebers gibt den Rhythmus des Zeitmessers vor

MECHANISCHES UHRWERK



Vier Bauteile machen eine mechanische Uhr aus: der Gangregler, die sogenannte Hemmung (die Verbindung zwischen Energiequelle, Mechanik und Gangregler), eine Energiequelle sowie die Mechanik, die den Energiespeicher

mit dem Gangregler verbindet und den Zeiger der Uhr bewegt. Bei einer Pendeluhr dient das Pendel als Gangregler. Weil es immer in derselben Zeit hin- und herschwingt, gibt es den Takt der Uhr vor. Der wird über eine Ankerhemmung auf ein Zahnrad übertragen: Weil jeweils einer der beiden Arme dieser Ankerhemmung in einen Zwischenraum des Zahnrads greift, kann dessen Achse pro Pendelschwingung jeweils nur um eine Zacke weiterrücken. Das Uhrwerk läuft so in immer zeitgleichen Schritten ab.

Ein Räderwerk überträgt von einem Speicher die Antriebskraft zur Mechanik und über die Hemmung auch auf das Pendel. Hier dient zum Antrieb ein langsam fallendes Gewicht, das zuvor etwa mithilfe eines Seils oder Schlüssels hochgezogen (also geladen) wurde. Die Uhr wird so mit der notwendigen Energie versorgt. Weitere Zahnräder übertragen schließlich den Zeitpunkt des Pendels auf die Stunden-, Minuten- und Sekundenzeiger der Uhr.

Am 28. März 1764 geht es schließlich von England zur Antilleninsel Barbados. Diesmal gibt Harrison vorher den Gang der H4 an; bei Raumtemperatur gehe die Uhr um eine Sekunde pro Tag vor (seine Aufzeichnungen informieren den Kapitän dazu über die Abweichung bei größerer Hitze).

46 Tage später erreicht William mit der Uhr Barbados. Zwei Astronomen sind vorausgereist, um die exakte Lage der Insel zu bestimmen und sie mit der Länge von Portsmouth zu vergleichen.

Nach ihren Berechnungen beträgt die Zeitdifferenz zwischen beiden Orten drei Stunden, 54 Minuten und 18,15 Sekunden. Die H4 zeigt – wenn man ihren Gang berücksichtigt – einen Unterschied von drei Stunden, 54 Minuten und 57,27 Sekunden an.

Ihre Abweichung beträgt also nach einer Reise von 46 Tagen exakt 39,12 Sekunden. Damit ist die Uhr dreimal so präzise, wie im Longitude Act gefordert.

Am 4. Juni 1764 reist William von Barbados zurück nach England.

Nun steht seinem Vater zweifellos das Preisgeld zu. Die Längenkommission erkennt das Ergebnis an – aber sie macht neue Einwände geltend: Sie beruft sich auf eine Klausel des Longitude Acts, wonach eine preiswürdige Methode zur Längenbestimmung auf See „praktisch anwendbar und brauchbar“ sein muss.

Aber lässt sich die teure H4 überhaupt nachbauen und zu vertretbaren Kosten in großer Stückzahl produzieren?

Schließlich erwirkt die Kommission einen neuen Parlamentsbeschluss; demnach wird das Preisgeld geteilt und seine Anzahlung an zusätzliche Bedingungen geknüpft. Harrison soll für die erste Hälfte der Summe seine Uhr vor einer Kommission auseinandernehmen und sie zusammen mit den drei erfolglosen Vorgängermodellen dem Board aushändigen. Unwillig geht der Erfinder darauf ein und erhält

10000 Pfund (abzüglich einer bereits gezahlten Unterstützung von 2500 Pfund).

Für das restliche Geld soll Harrison zwei neue Exemplare der H4 bauen – aber ohne das Original als Vorlage.

Sechs Jahre später ist Harrison, inzwischen ein Mann von 79 Jahren, mit einer Kopie der H4 fertig. Die Kommission besteht auf dem zweiten Exemplar.

Pfund – das ist mehr als die einstmals vorgesehene Prämie.

Aber der offizielle erste Preis der Längenkommission und damit die Anerkennung, das wohl schwierigste technologische Problem seiner Zeit gelöst zu haben, wird ihm nie zuerkannt.

1776 STIRBT John Harrison im Alter von 83 Jahren in London. Vier Jahre zuvor hat der Entdecker James Cook einen Nachbau der H4 mit auf seine zweite Südsee- reise genommen und war begeistert von ihrer Präzision. Mithilfe der Uhr zeichnet Cook erste Karten Australiens und Neuseelands.

Nach Harrisons Tod (sein Sohn William stirbt 39 Jahre später und wird neben dem Vater in London beigesetzt) vereinfachen andere Uhrmacher seinen Schiffs-Chronometer, sodass er billiger zu produzieren ist.

Die East India Company, eine private Handelsgesellschaft, die mit skrupellosen Methoden den indischen Subkontinent erschließt, schafft ein Dutzend Exemplare für ihre Schiffe an. 1858 setzt die Royal Navy bereits 610 Schiffs-Chronometer ein.

Gegen Ende des 19. Jahrhunderts setzt sich Harrisons Erfindung endgültig gegen die Monddistanz- methode durch. Schiffe können nun gefahrloser die Weltmeere befahren, Geographen exaktere Karten zeichnen.

Wohl nicht zuletzt dank Harrisons Uhr blüht der englische Seehandel auf, begründet das Königreich ein Weltimperium. Seinem Schiffs-Chronometer verdanken unzählige Seeleute ihr Leben.

Deshalb halten heute viele Historiker die H4 für die wichtigste Uhr, die jemals gebaut wurde. □

Dr. Ralf Berhorst, 44, ist Autor in Berlin.

Literaturempfehlungen: Jonathan Betts: „Harrison: Eine Uhr zur Bestimmung des Längengrads“. Delius Klasing. Dava Sobel und William J. H. Andrewes: „Längengrad. Die illustrierte Ausgabe“, Berlin Verlag; verständlich geschriebene, populärwissenschaftliche Darstellungen von Harrisons Leben und dem Längengrad-Problem.

Memo: HARRISONS CHRONOMETER

► **Noch im 18. Jahrhundert** zerschellten viele Schiffe an Klippen, weil Seefahrer sich nur unzureichend auf dem Meer orientieren konnten.

► **Theoretisch war ein Verfahren bekannt**, um die Position von Schiffen zu ermitteln: mithilfe der Gestirne, der Längen- und Breitengrade sowie einer Methode, mit deren Hilfe überall auf der Erde die exakte Zeit des Heimathafens bestimmt werden kann. Doch kein Maß war präzise genug.

► **Hohe Preisgelder** wurden von der englischen Regierung für die Entwicklung einer genauen Zeitmessung ausgelobt.

► **John Harrison**, ein genialer Hobby-Uhrmacher, begann in den 1720er Jahren nach einer Lösung zu suchen, doch seine ersten drei Schiffs-Chronometer waren trotz revolutionärer Technik auf See zu ungenau.

► **Erst seine vierte Uhr** wurde zur präzisesten ihrer Zeit und brachte ihm insgesamt mehr als 20000 Pfund ein.

► **Ruhm und Anerkennung** blieben Harrison jedoch wegen angeblicher formaler Mängel zeitlebens versagt.

Der völlig zermürbte Uhrmacher weiß sich schließlich nicht mehr anders als mit einem Gesuch an den englischen König zu helfen. George III. empfängt William zu einer Audienz und erklärt dabei angeblich: „Bei Gott, Harrison, ich werde dafür sorgen, dass Ihnen Recht geschieht.“

Mit Unterstützung des Monarchen und auf Empfehlung eines unabhängigen Finanzausschusses richtet der Uhrmacher eine Eingabe an das englische Parlament.

Das Abgeordnetenhaus bestimmt schließlich im Jahr 1773, dass an den Erfinder weitere 8750 Pfund auszuzahlen sind.

Damit addieren sich die Beträge, die Harrison im Laufe der Jahrzehnte erhalten hat, auf insgesamt über 23 000

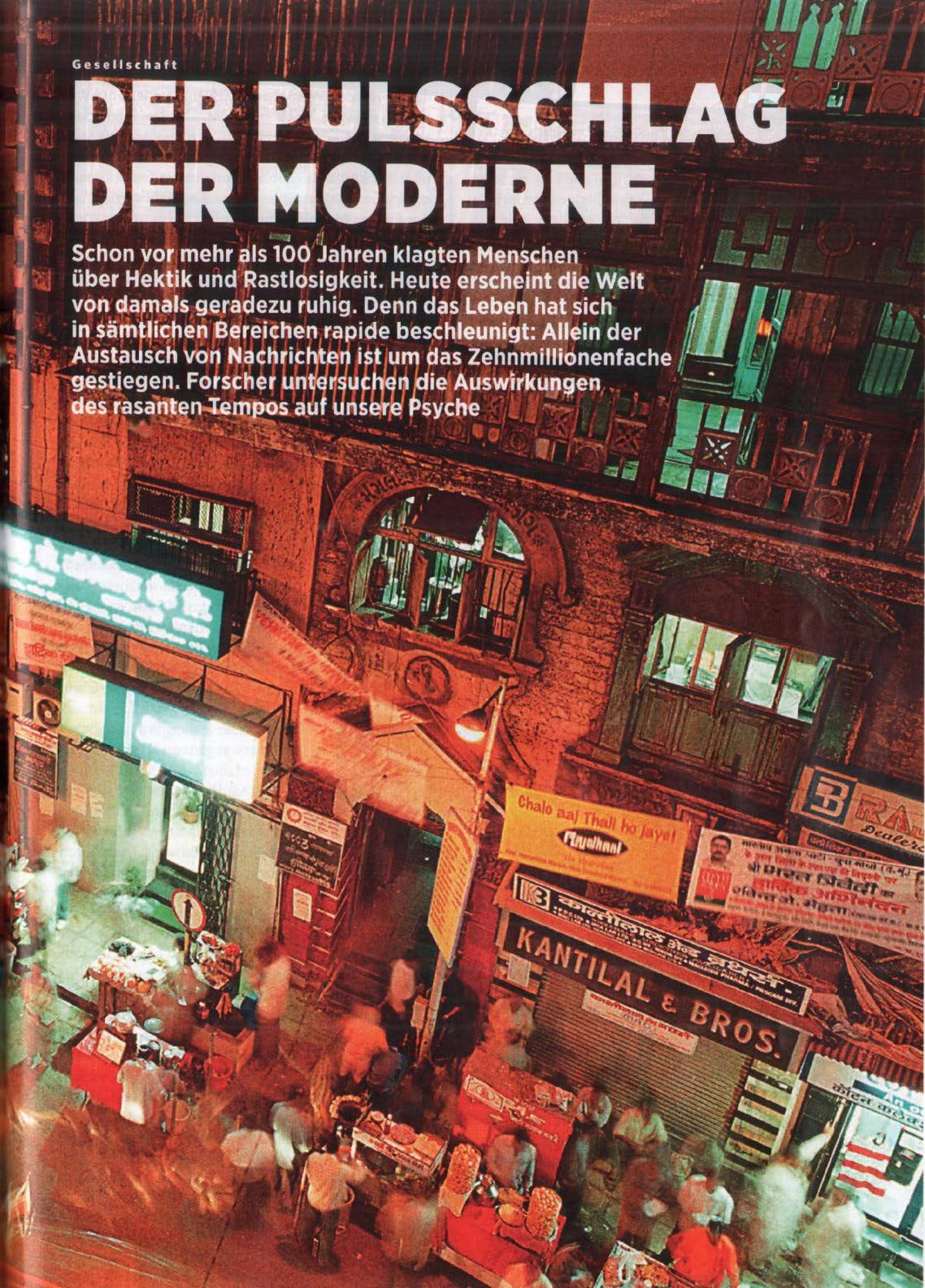


Die Großstadtpräts des Niederländers

MARTIN ROEMERS spiegeln den immer höheren
Lebenstakt der modernen Welt wider (hier in Mumbai,
November 2004). »Metropolis« nennt der 1962
geborene Künstler seine Studie, die kürzlich mit dem
renommierten World Press Photo Award
ausgezeichnet worden ist

DER PULSSCHLAG DER MODERNE

Schon vor mehr als 100 Jahren klagten Menschen über Hektik und Rastlosigkeit. Heute erscheint die Welt von damals geradezu ruhig. Denn das Leben hat sich in sämtlichen Bereichen rapide beschleunigt: Allein der Austausch von Nachrichten ist um das Zehnmillionenfache gestiegen. Forscher untersuchen die Auswirkungen des rasanten Tempos auf unsere Psyche



D

as moderne Leben ist paradox. Eigentlich sollten wir heute über so viel Zeit verfügen wie nie zuvor. Und doch fühlen sich mehr Menschen denn je gehetzt, rastlos und kurzatmig – erfüllt von dem beklemmenden Gefühl, nie genug Zeit zu haben.

In den letzten Jahrzehnten hat die durchschnittliche Wochenarbeitszeit kontinuierlich abgenommen. Nie zuvor verfügten wir über so viel Freizeit: 42 Stunden pro Woche, so das Statistische Bundesamt. Obendrein nehmen uns immer raffiniertere Geräte zeitraubende



Immer mehr Menschen fühlen sich heute durch den gewaltigen Ansturm von Reizen und Informationen überfordert (Beijing, Mai 2010)

Tätigkeiten ab. Zudem ist die Lebensspanne gestiegen. Allein seit etwa 1900 hat sie sich fast verdoppelt – auf rund 80 Jahre. Die meisten Deutschen erreichen ihren 70. Geburtstag bei recht guter Gesundheit.

Allem Anschein nach sollte diese Zeit also ausreichen, zu entspannen, auszuruhen, nichts zu tun. Doch

das gelingt den Wenigsten. Nach einer repräsentativen Umfrage fühlen sich zwei Drittel der Deutschen gestresst von ständiger Hektik.

Immer mehr Menschen klagen darüber, sich nur noch für kurze Augenblicke auf eine Aufgabe konzentrieren zu können. Sie haben das Gefühl, der Takt des Lebens beschleunige sich fortwährend, zerhache Stunden und Tage in immer kleinere Stücke.

Die Bundesbürger wünschen sich vor allem eines – ruhiger zu werden. Und ganz oben auf der Liste ihrer guten Vorsätze steht: mehr Zeit zu haben.

Offenbar geht uns in der modernen Gesellschaft die Zeit in ebenjenem Maße verloren, in dem wir versuchen, sie durch Medizin und Technik, Wohlstand und wachsende Effizienz zu vermehren.

Dieser Widerspruch beschäftigt Wissenschaftler unterschiedlicher Disziplinen. Soziologen und Historiker, Mediziner, Psychologen und Hirnforscher versuchen die komplexen Prinzipien und Auswirkungen der „Beschleunigungsgesellschaft“ zu verstehen: Weshalb verrinnt die Zeit so schnell? Wann begann der Lebensrhythmus hektischer zu werden? Wie wirkt sich die vermeintliche Zeitnot auf unser Gemüt aus, auf unsere Gedanken? Hat sich gar unser Gehirn durch den modernen Lebenstakt verändert?

Und die wohl wichtigste Frage: Mangelt es uns wirklich an der Zeit – oder haben wir möglicherweise etwas ganz anderes verloren?

UM DAS PARADOXON der Moderne zu ergründen, richten Zeitforscher den Blick zurück. Denn das Problem zunehmender Beschleunigung belastete den Menschen nicht immer: Die längste Zeit der Geschichte veränderte sich der Lebensgang kaum, die Welt wandelte sich nur langsam, weder technische Innovationen noch gesellschaftliche Umbrüche vermochten den Takt des Daseins rasch zu beschleunigen. Die Zukunft unterschied sich kaum von der Vergangenheit.

Jahrtausendelang waren sich Menschen sicher: Schnellere Transportmittel als Pferde und Boote gibt es nicht. Söhne gingen der Arbeit ihrer Väter und Großväter nach; die Zyklen von Tag und Nacht, Sommer und Winter bestimmten den Rhythmus des Lebens.

Mit dem **Kapitalismus** kam ein neues Lebensgefühl auf: Jeder müsse **Stunden** und **Tage** fortan so **intensiv** wie möglich nutzen

Mit der Neuzeit änderte sich dies dramatisch. Die Welt verlor an Stabilität, starre Gleichförmigkeit wandelte sich in Dynamik. Als die vormoderne, ständische Ordnung zusammenbrach, geriet die Welt in Bewegung. Immer mehr Menschen hatten nun die Möglichkeit, in der Gesellschaft aufzusteigen. Immer mehr suchten nach ihrer Bestimmung, ergriffen ihren eigenen Beruf und versuchten sich gegen andere durchzusetzen.

Nicht mehr allein der Stand und die Herkunft zählten, sondern vor allem Leistung. Menschen konkurrierten nun um Geld und Güter, rangen um Ansehen und Anerkennung, um Positionen und Privilegien.

Gewissermaßen öffnete sich die Zukunft. Und so kam mit dem Kapitalismus ein völlig neues Lebensgefühl auf: Jeder müsse seine Tage und Stunden so intensiv wie möglich nutzen, um den angestrebten Platz in der Gesellschaft zu erklimmen. Kurz: Zeit sei nicht im Überfluss vorhanden, sondern stets knapp bemessen.

Die Formel dieser neuen Ära prägte 1748 der amerikanische Naturwissenschaftler und Staatsmann Benjamin Franklin in seiner einflussreichen Schrift „Ratschläge für junge Kaufleute“: „Remember that time is money.“ Zeit ist Geld.

Fortan war Zeit gleichsam ein ökonomisches Gut, eine kostbare Ressource, die jeder bewirtschaften konnte. Wer durch Geschwindigkeit und Maschinenkraft Tage oder Stunden, ja sogar Minuten einsparte, der steigerte seinen Profit oder den der Firma.

Die Sünde der Moderne hieß nun: Zeitverschwendug. Müßiggang und Pausen hatten kaum noch Platz im Leben der Menschen, sie brachten nicht mehr nur ein Gefühl von Ruhe und Entspannung, sondern auch ein immer größeres Risiko: Wer inmitten der Beschleunigung stillsteht, fällt zurück.

Von einem „sozialen Wirbelsturm“ sprach der Genfer Aufklärer Jean-Jacques Rousseau bereits Mitte des 18. Jahrhunderts; sein Zeitgenosse Johann Wolfgang von Goethe klagte über den „velozifischen“ Charakter der Moderne (von lat. *velocitas* = die Geschwindigkeit; *lucifer* = der Teufel).

„Zu keiner Zeit haben die Tätigen, das heißt die Ruhelosen, mehr gegolten“, notierte der Philosoph Friedrich Nietzsche wenige Jahrzehnte später.

Das Verlangen nach Schnelligkeit und danach, Zeit zu sparen, durchdrang fast alle Bereiche: Arbeit und Produktion, Transport, Fortbewegung und Kommunikation. Innovationen wie Fahrrad, Eisenbahn, Dampfschiff, Automobil und schließlich das Flugzeug ließen Menschen rascher denn je von einem Ort zum anderen



Viele haben kein Zeit-, sondern ein Gewichtungsproblem: Sie wissen nicht mehr, was bedeutsam ist (Manila, April 2010)

gelangen. Somit wurden auch Nachrichten immer schneller und über größere Entfernungen ausgetauscht. Telefon und Telegraph übermittelten Neuigkeiten nun fast ohne Verzögerung – in „Echtzeit“.

Fünf-Minuten-Gespräche und Wortwechsel von nur fünf Sekunden auf dem Fahrrad seien üblich ge-





worden, stellte der deutsche Historiker Karl Lamprecht 1912 fest. Als geeignete Kurzlektüre für Bahnfahrten entstand gar eine eigene Literaturform, die Novelle.

Nicht zuletzt formte sich bereits damals die Überzeugung, der Reichtum des Lebens bemesse sich an der Anzahl der Erfahrungen und Ereignisse. Immer mehr in immer kürzerer Zeit zu erleben, immer mehr Möglichkeiten auszuschöpfen, Neuerungen zu nutzen, zu konsumieren: Danach verlangten Menschen.

Wer innerhalb der gleichen Zeit doppelt so viel Aktivität entfalte wie ein anderer Mensch, der bringe im Vergleich gewissermaßen zwei Leben in der Zeitspanne eines Daseins unter.

So formbar **unser Gehirn** auch ist, **manche** **Prozesse** folgen noch immer Mustern aus der **Steinzeit**

Die Beschleunigung erhob sich zur Signatur der Moderne. Und veränderte damit das Zeitempfinden der Menschen. Was gerade noch als rasant galt, erschien kurz darauf bereits als gemächlich. Was gerade noch Spannung hervorrief, wirkte bald schon langatmig.

Dieser Trend hält bis heute an. Als die Dauer für einen Werbeclip auf dem Nachrichtenkanal CNN in den 1970er Jahren auf eine halbe Minute verkürzt wurde, galt das als avantgardistisch – heute dauert ein TV-Spot oft nur fünf Sekunden. Ebenso haben die Szenenwechsel in Film und Fernsehen dramatisch zugenommen.

So veränderte sich etwa der Blick des Zuschauers durch die flackernden Bilderwelten des TV-Musiksenders MTV, der den immer temporeicherem Pulschlag in eine neue Ästhetik übersetzte: Drei-Minuten-Videoclips, schnell geschnittene Collagen aus Konzertauftritten, schrill-bunte Impressionen, surreal anmutende Szenen. Oft flimmerten die einzelnen Einstellungen nicht länger als eine Sekunde über den Bildschirm.

Studien belegen, dass selbst die Redegeschwindigkeit in den vergangenen Jahrzehnten zugenommen hat (Kairo, Januar 2009)

Als die 1966 ausgestrahlte deutsche Science-Fiction-Serie „Raumpatrouille“ 2003 für das Kino neu aufgelegt wurde, passten die Produzenten die Erzählgeschwindigkeit den veränderten Sehgewohnheiten an: Sie beschleunigten den Start des Raumschiffes von seiner Heimatbasis auf der Erde ins All um fast das Doppelte. Kaum einem Fan der Serie fiel das auf.

Heute konsumieren Kinogänger mitunter in einer Stunde 1000 unterschiedliche Einstellungen. Unentschlossene Fernsehzuschauer wechseln Studien zufolge im Durchschnitt alle 2,7 Sekunden den TV-Kanal.

Selbst die Redegeschwindigkeit der Menschen scheint gestiegen zu sein. Eine Untersuchung des Politikwissenschaftlers Ulf Torgersen von der Universität Oslo ergab, dass bei Parlamentsreden die Anzahl der pro Minute artikulierten Phoneme (darunter verstehen Linguisten bedeutungsunterscheidende Laute einer gesprochenen Sprache) zwischen 1945 und 1995 um fast 50 Prozent zugenommen hat.

Die Logik des Kapitalismus hat die Effizienz so weit vorangetrieben, dass manche Prozesse kaum noch zu beschleunigen sind. So gehen etliche Unternehmen zur *Just-in-time*-Produktion über. Hier sind Vorratslager auf ein Minimum beschränkt. Die Einzelteile etwa zur Fertigung von Automobilen stapeln sich nicht mehr in Hallen. Das kostet zu viel Zeit, zu viel Geld. Die Produktionsketten von der Herstellung der einzelnen Komponenten bis hin zum fertigen Fabrikat sind derart genau aufeinander abgestimmt, dass keine Lagerung mehr nötig ist. Zulieferfirmen befördern jedes Bauteil gerade dann zur Produktionsstätte, wenn es benötigt wird.

Immer weniger Arbeitnehmer müssen nun immer mehr erwirtschaften. Dafür muss der moderne Mensch nicht nur schnell sein. Sonder auch: immer flexibler, mobiler, belastbarer.

In den USA wechseln Akademiker im Laufe ihres Berufslebens durchschnittlich elfmal ihre Arbeitsstelle. Millionen Menschen sind nicht mehr dort beschäftigt, wo sie wohnen, sondern – pendeln Tag für Tag. Der Büroalltag fordert, dass wir uns in nie gekannter Frequenz auf immer neue Aufgaben einlassen müssen.

Und die Ansprüche an den Einzelnen sind enorm gestiegen. Der Druck nimmt stetig zu: vor allem für

Familien. Denn die Gesellschaft erwartet, dass man heute gleich mehrere Rollen einnimmt. Eltern sollen Erzieher, Gesprächspartner, Liebhaber, Ernährer sein. Und fühlen sich zudem verpflichtet, den Alltag ihrer Kinder zu organisieren. Insbesondere berufstätige Mütter leiden unter einem Gefühl wachsender Zeitknappheit.

VOR ALLEM ABER ist es die anschwellende Masse an Nachrichten, Meldungen und Daten, die den Puls des Lebens immer schneller in die Höhe treibt.

Inzwischen überwältigt uns ein schier ununterbrochener Strom immer neuer Fakten und Mitteilungen – im Beruf wie in der Freizeit. Auf Online-Nachrichtenportalen erscheinen halbstündlich neue Leitartikel, Live-Ticker informieren im Minutenakt über Katastrophen, Wettkämpfe, Bürgerkriege. Tag für Tag berichten Milliarden Menschen in sozialen Netzwerken über ihre Erlebnisse, verschicken Einladungen, kommentieren Rundmails, stellen Millionen Urlaubsbilder online. Allein die Internet-Plattform Facebook zählt mittlerweile weit mehr als eine halbe Milliarde Mitglieder.

Immer neue Geräte verschaffen Zugang zu den schier grenzenlosen Wissenswelten im Internet – Laptops, PC-Tablets, onlinefähige Mobiltelefone, Multimediakonsolen. In Deutschland verbringen Jugendliche jeden Tag rund 5,5 Stunden mit digitalen Medien – in den USA gar mehr Zeit als mit Schlafen.

Experten schätzen, dass die Menge der Nachrichten, die Menschen untereinander austauschen, etwa per Brief, Mail, Telefon, Radio, im 20. Jahrhundert um das Zehnmillionenfache angestiegen ist. Nie zuvor in der Geschichte haben Menschen Tag für Tag, Stunde für Stunde, Minute für Minute derart viele Informationen verarbeiten müssen. Die Zeit wirkt gleichsam verstopft. Und Jahr für Jahr nimmt der Datenberg zu.

Eigentlich, so sollte man meinen, ist jene wachsende Fülle von Informationen, Ereignissen, Kontakten und Wegen der Kommunikation ein Gewinn. Immerhin sparen wir uns mithilfe von Suchmaschinen zeitaufwendige Recherchen in Bibliotheken, können jederzeit in Netzwerken den richtigen Experten für die Lösung eines Problems finden. Wenn uns das Geburtsjahr eines Künstlers, der Name eines Schauspielers, ein

Im Zeitalter der **Globalisierung** sind Schnelligkeit, **Flexibilität** und Erreichbarkeit gesellschaftliche **Norm**



passendes Zitat nicht einfällt, genügt ein Blick ins Internet. Stets und überall können wir zum Mobiltelefon greifen, Nachrichten verschicken, E-Mails abfragen.

Und tatsächlich schult all dies, wie Forscher herausgefunden haben, besondere Fertigkeiten unseres Gehirns. Denn das Denkorgan ist plastisch und seit jeher in der Lage, sich seiner Umwelt höchst flexibel anzupassen. Das tut es auch heute. Vor allem der Umgang mit der digitalen Informationstechnologie verdrahtet das Nervengeflecht neu.

Studien belegen, dass beispielsweise die häufige Nutzung des Internets unsere visuellen Fähigkeiten trainiert. Geübte Nutzer vermögen etwa große Textmengen immer schneller zu überblicken, die wichtigsten Aussagen zu erfassen. Sie verweilen, wenn sie nach

bestimmten Daten und Fakten zu einem Themenfeld suchen, in der Regel knapp zwei Sekunden auf jeder Seite. In dieser kurzen Zeitspanne erkennen sie, wie nützlich die jeweils präsentierten Angaben sind.

So lernen manche Menschen, immer rascher von einer Botschaft zur nächsten zu springen, gelangen schneller denn je an Informationen. Und häufen in immer kürzerer Zeit immer mehr Wissenssplitter an.

Das ist sicherlich eine Errungenschaft des rasanten Tempos der Moderne. Steigern wir also nicht bloß unseren Lebenstakt, sondern auch unsere Bildung?

„Im Allgemeinen werden Menschen durch das immer größere Informationsangebot vielleicht schlauer“, sagt der Neurowissenschaftler Gerhard Roth, der am Institut für Hirnforschung in Bremen Lernprozesse erforscht. „Aber sie werden nicht klüger und erst recht

Das Gehirn kann süchtig werden nach Reizen, wir kommen dann kaum noch zur Ruhe - die Zeit wirkt gleichsam verstopt (Istanbul, Juli 2010)



nicht weiser. Denn eines lässt sich in unserem Gehirn bis heute nicht beschleunigen: die sogenannte Verarbeitungstiefe.“ Wollen Menschen also etwas Neues in seiner ganzen Bedeutung verstehen, Fremdes mit Bekanntem in Verbindung bringen und dauerhaft in ihr Wissen integrieren, brauchen sie dafür so lange wie eh und je. Mag dies manchem auch schneller als anderen gelingen – das Gehirn benötigt nach wie vor Zeit, um Zusammenhänge herzustellen.

Und hier verbirgt sich ein Grundproblem unserer atemlos hastenden Gesellschaft: Denn so formbar das Hirn auch ist – manche Denkvorgänge folgen immer

Beschleunigung verändert das Zeitempfinden: Was heute schnell erscheint, wirkt morgen schon gemächlich
(Jakarta, Mai 2010)

noch archaischen Mechanismen, die sich seit der Steinzeit nicht verändert haben. Sie passen sich dem schneller werdenden Takt des Lebens nicht an.

Für unsere Urahnen bargen Reize oft nichts anderes als: Gefahr. Sobald sie ein auffallendes Geräusch hörten, ein verdächtiges Rascheln im Gebüsch, oder die Silhouette eines Raubtieres im Augenwinkel vorbeihuschte, schreckten sie automatisch hoch, ließen instinktiv von ihrer Arbeit ab und richteten ihre Aufmerksamkeit auf die Reizquelle; das war überlebenswichtig.

Deshalb kann sich auch heute noch jeder neue Eindruck, wenn er auffällig genug ist, sekundenschnell ins Zentrum unseres Bewusstseins drängen – oft ohne dass wir es wollen. Dann verblassen alle anderen Reize. Es ist, als richteten wir in einem dunklen Raum den Lichtkegel einer Taschenlampe auf den Ort des Interesses.

Dieses unwillkürliche Verhaltensmuster ist tief in unserem genetischen Erbe verankert. Jedes Mal, wenn

ein Reiz unsere Aufmerksamkeit fesselt, und sei es auch nur für kurze Zeit, kommt es in unserem Körper zu einer komplexen physiologischen Reaktion.

Diese Reaktion hat ihren Anfang im *Locus coeruleus*, einer Struktur in unserem Hirnstamm, dem ältesten Teil des Denkorgans unmittelbar oberhalb der Wirbelsäule. Das winzige Areal alarmiert den Körper zunächst über Nervenfasern. Diese regen in Sekundenbruchteilen bestimmte Zellen an, das Hormon Noradrenalin auszuschütten – einen biochemischen Botenstoff, der den Körper in Alarmbereitschaft versetzt.

Droht tatsächlich Gefahr, produziert der *Locus coeruleus* selbst Noradrenalin und setzt die wichtigsten Stressreaktionen des Körpers in Gang. So wird etwa unser Puls erhöht, der Blutdruck steigt, die Muskulatur wird aktiviert, unsere Wahrnehmung geschärft, werden höher gelegene Zentren des Gehirns befähigt, schneller zu denken. Kurz: Wir werden wacher, erregter, lebendiger. Zudem verspüren wir augenblicklich Furcht, bereiten uns auf eine rasche Reaktion vor – Angriff, Erstarren oder Flucht.

Merken wir jedoch, dass jener Reiz, der unsere Aufmerksamkeit auf sich gezogen hat, harmlos ist, gelangt nur eine geringe Dosis Noradrenalin ins Blut und in die Nervenbahnen. Die aber genügt bereits, um uns in eine kribbelnde Spannung zu versetzen. Ein leichter Schauer, den wir allerdings nicht als unangenehm empfinden. Im Gegenteil: Es ist ein eher wohliges Gefühl, das unser Interesse weckt, uns elektrisiert.

Genau solche Reize prasseln heute weitaus häufiger auf Menschen ein als zu früheren Zeiten. Unsere Ahnen vermochten sich noch stundenlang einer Beschäftigung zu widmen – sie bearbeiteten einen Stein, schürten ein Feuer, richteten eine Unterkunft her, ohne von der Arbeit abgelenkt zu werden.

In der heutigen, schnellebigen Welt aber lässt uns das Summen einer SMS, das Klingeln des Mobiltelefons, ein aufblinkendes Werbebanner, jedes Tonsignal einer neuen E-Mail instinktiv aufschrecken: Wir unterbrechen ein Gespräch, eine Lektüre oder die Arbeit, mit der wir uns gerade beschäftigen.

Allein die digitale Reizflut ist immens. Tag für Tag verschicken Menschen weit mehr als zehn Milliarden Kurznachrichten, versenden bis zu 300 Milliarden E-Mails. Insgesamt tauschen wir täglich weltweit eine Datenmasse von mehr als zwei Billionen Gigabyte aus – auf CDs gebrannt, würden sich die Scheiben von der Erde bis weit hinter den Mond türmen.

Die fortwährende Stimulation vermag auf Dauer gar eine Art Abhängigkeit zu entfachen: Wir verlangen nach immer mehr. „Der Kick, den jeder neue Reiz in uns auslöst, kann zu *sensation seeking* führen“, sagt Roth. „Das stellt eine Sucht dar.“

Denn was in unserem Hirn abläuft, ähnelt jenem beschwingenden Effekt, den manche Drogen auslösen.

Und so gleicht eben auch der Nachgeschmack der Erregung dem eines Rauschmittels: Wenn die Stimuli ausbleiben, fühlen sich manche Menschen leer, sie gieren nach Neuem, werden nervös. Sie geraten in einen Strudel der Rastlosigkeit, können dem fiebrigen Takt des Lebens kaum noch entfliehen.

Mehr noch: Je zahlreicher Informationen pro Zeitseinheit auf uns einströmen, desto stärker wird ein Filter in unserem Gehirn strapaziert, der – ohne dass wir uns dessen bewusst sind – unwichtige Reize ausblendet. Diese Instanz befindet sich im *präfrontalen Kortex*, einer Hirnregion, die hinter unserer Stirn liegt.

Je nachdem, wie belastbar unser Denkorgan ist, kann es vorkommen, dass der Filter immer schlechter funk-

Menschen in der westlichen Welt schlafen heute im Durchschnitt eine halbe Stunde weniger als noch vor 20 Jahren

tioniert. Dann fällt es stetig schwerer, Wichtiges von Unwichtigem zu unterscheiden. Die Schwelle sinkt, die uns davon abhält, jeden Reiz zu beachten.

Unter dem ständigen Ansturm neuer Informationen kann es sogar vorkommen, dass der Filter zusammenbricht. Immer mehr Reize dringen in unser Bewusstsein, immer schlechter können wir aussortieren. Und immer häufiger springt die Aufmerksamkeit von einem zum nächsten Reiz.

Die US-Neurobiologin Amy Arnsten hat herausgefunden: In jenen Momenten, in denen der *präfrontale Kortex* seine Filterfunktion einbüßt, aktivieren die gleichen biochemischen Prozesse die *Amygdala* – ein Hirnareal, das dann unter anderem ein Gefühl der Unsicherheit und Anspannung hervorruft. Kurz: Stress.

Gerade die Bewältigung geistig anstrengender Aufgaben ist dann kaum noch möglich. Wir werden fahrig, sind schließlich nicht mehr imstande, unseren Vorhaben langfristig zu folgen. Verlieren uns in Halbdankungen.

Aufmerksamkeitsschwächen haben sich, so der renommierte US-Psychiater Edward M. Hallowell, in den vergangenen Jahren epidemisch verbreitet. Die

Folgen dieser Konzentrationsschwäche hat die Wissenschaftlerin Gloria Mark von der Universität Kalifornien untersucht: Über mehrere Tage hinweg beobachtete sie die Arbeitsabläufe von Angestellten mehrerer Softwarefirmen. Die Wissenschaftlerin notierte jedes Mal, wenn eine Person von einer zur nächsten Tätigkeit wechselte – sich etwa von der Ausarbeitung eines Programms abwandte, nach einer einkommenden neuen E-Mail sah, ein Schriftstück las, dann einen unfertigen Text weiterschrieb.

Gloria Mark stellte fest, dass die Angestellten im Durchschnitt mindestens 20 Mal in der Stunde ihre Arbeit unterbrachen. Sie fokussierten sich also nicht länger als drei Minuten auf eine Aufgabe.

Dieser Mangel an Konzentrationsfähigkeit ist teuer. Analysen und Hochrechnungen der US-Beratungsfirma

Bett, wacht nachts vom Signalton einkommender Nachrichten auf, um sie gegebenenfalls sofort beantworten zu können. Selbst wenn sie mit anderen Menschen zusammen sind, lassen viele ihre Mobiltelefone angeschaltet. „Anwesende Abwesenheit“ nennt der Psychologe Kenneth Gergen dieses Phänomen.

Wissenschaftler sprechen zudem von einer immer stärkeren „Entgrenzung der Arbeit“. Nach einer Umfrage des Meinungsforschungsinstituts Emnid beantworten mehr als die Hälfte aller deutschen Arbeitnehmer auch im Urlaub geschäftliche Mails, denn im Zeitalter der Globalisierung sind Schnelligkeit, Flexibilität und permanente Erreichbarkeit zur Norm geworden.

Unter diesem wachsenden Druck – den Anforderungen des Berufs- und Familienlebens, den Erwartungen des sozialen Umfeldes, effizient zu arbeiten – verlieren die Menschen, so scheint es, an Zeit.

Viele versuchen, diesen Verlust zu kompensieren, indem sie wider ihre Natur leben. Wir schlafen im Durchschnitt eine halbe Stunde weniger als vor 20 Jahren, nehmen immer mehr aufputschende Medikamente ein, gönnen uns kaum noch Auszeiten.

Und schwächen damit nicht nur unseren Organismus, sondern auch die Psyche. Immer mehr Menschen leiden an Depressionen. Seit 1990 hat sich die Anzahl der Krankschreibungen wegen psychischer Belastungen nahezu verdoppelt.

DOCH WIE BEKOMMT die Beschleunigungsgesellschaft ihre Zeitnot in den Griff? Wie entgehen wir dem ständigen Tempo, der Kakophonie des modernen Lebens? Wie finden wir zur Ruhe?

Mittlerweile gibt es Hunderte von Ratgebern, die eines versprechen: Wer seine Zeit optimal nutzt, gerät nicht unter Druck. Deutsche Unternehmen geben jährlich Millionen Euro für Zeitseminare aus. Teilnehmer lernen dabei zumeist, wie sie ihre Tage und Stunden am besten einteilen, wie sie Kalender, Aufgaben- und Prioritätenlisten besonders geschickt organisieren, wann sie welches Anliegen – beruflich wie privat – in Angriff nehmen sollen. Letztlich also, wie man besonders viel Zeit spart. Um noch mehr leisten zu können.

Und damit das kapitalistische Prinzip zu erfüllen: den stetigen Zuwachs an Effizienz – also die Steigerung des Gewinns. Besonders in Zeiten wirtschaftlicher Unsicherheit suchen Unternehmen nach neuen Wegen, immer weniger Zeit zu verschwenden.

Zwar mögen manche Maßnahmen durchaus erfolgreich sein. Strukturveränderungen etwa, die bestimmte Arbeitsprozesse optimieren – beispielsweise eine reibungsfreiere Zusammenarbeit mehrerer Abteilungen oder die Zusammenlegung von Arbeitsgruppen.



Schon im 18. Jahrhundert kam das Gefühl auf:

Wer inmitten der Beschleunigung innehält, fällt zurück (Mexico-City, März 2011)

Basex besagen, dass allein in den USA Angestellte jedes Jahr 28 Prozent ihrer Arbeitsstunden vertun, weil sie sich ständig ablenken lassen. Das kostet 588 Milliarden Dollar.

Selbst in der Freizeit setzt sich der Drang nach Ablenkung fort. Immer weniger Menschen halten es beispielsweise aus, nicht mehrmals täglich die elektronische Post zu kontrollieren. Beinahe zwei Drittel aller Besitzer mobiler E-Mail-Geräte in den USA lesen ihre Nachrichten bereits morgens im Bett. 37 Prozent kontrollieren und lesen Mails, während sie am Steuer sitzen. Jeder Zehnte legt das Gerät an sein

Das große Kribbeln!

Das Extra-Heft für junge Entdecker ab 8 Jahren. In dieser Ausgabe: alles über Liebesbriefe, turtelnde Tiere und den ersten Kuss.

AUCH MIT
DVD
ERHÄLTLICH



GEOlino. Wissen macht Spaß

Sie können dieses Heft auch direkt bestellen unter Tel. 01805/861 80 00*

* 0,14 €/Min. aus dem dt. Festnetz, max. 0,42 €/Min. aus den dt. Mobilfunknetzen.

Doch viele Forscher bezweifeln den Nutzen solcher Lehrgänge für den Einzelnen und dessen Psyche. Die US-Psychologin Therese Macan hat in der bislang umfangreichsten Studie über den Effekt von Zeitmanagementkursen festgestellt: Viele Teilnehmer fühlen sich nach einem solchen Seminar zunächst zwar besser, versuchen sich an den erlernten Zeitplan zu halten. Doch bereits nach wenigen Wochen fallen sie wieder in ihre alten Muster, klagen über Hetze und Nervosität. Sie sind weder zufriedener mit ihrer Arbeit, noch vermögen sie ihre Leistung zu steigern; sie empfinden eine ebenso große Zeitnot wie vor dem Training.

Zeitmanagement bewirkt also meist nicht mehr als eine Diät. Denn die Regeln und Informationen der Ratgeber verursachen bei vielen Menschen letztlich nur noch mehr Stress.

Vor allem aber befassen sich derartige Kurse und Coachings oft nur mit dem Phänomen. Und nicht mit dessen Ursache.

Denn die eigentlichen Herausforderungen tarnen sich häufig nur als Zeitprobleme. Viele Menschen haben zwar das Gefühl, ihnen eilten die Minuten und Stunden davon.

Eigentlich aber verlieren sie nicht die Zeit an sich – sondern die Kontrolle darüber, ihr Leben zu gestalten.

Tatsächlich haben viele Getriebene im Grunde genommen genügend Raum für sich selbst, doch sie rennen derart vielen Reizen nach, möchten so viel erleben, dass ihre Zeit zerfasert.

Ein Mehr an Optionen bringt schließlich nicht zwangsläufig ein Mehr an Freiheit mit sich. Die Verheißung der Moderne, dem Menschen mit immer neuen Innovationen zu mehr Selbstbestimmtheit zu verhelfen, kehrt sich bisweilen ins Gegenteil um. Jede neue Auswahlmöglichkeit kann unbewusst zu einem Konflikt führen: Wer eine von 100 Optionen wählt, entscheidet sich ja gegen 99 andere. Und mag sich dadurch nicht freier fühlen, sondern vielmehr eingeschränkt, unbefriedigt. Denn eigentlich möchte er so viele Alternativen wie möglich wahrnehmen. Das

Angebot vermehrt sich, die Zeit tut das nicht – und so scheinen die Stunden immer weiter zu zersplittern.

„Wir leben in einer Welt, in der sich immer mehr Menschen auf der Suche nach der Erfüllung ihrer Sehnsüchte verirren“, sagt der Hirnforscher Gerald Hüther aus Göttingen. „Sie haben kein Zeitproblem, sondern ein Gewichtungsproblem. Denn wer keine Zeit hat, der weiß nicht mehr, was für ihn bedeutsam ist.“

Zunächst mag diese Erkenntnis trivial erscheinen, doch sie ist es nicht. In ihr liegt der Schlüssel, der Eile und Hektik zu entkommen: zu entschleunigen – und zumindest hin und wieder seinen eigenen Rhythmus zu finden. Denn wer sich sicher ist, was in seinem Leben Bedeutung hat, der muss nicht ständig nach Neuem suchen.

Immer mehr Menschen spüren diesen Wunsch nach Verlangsamung, nach Stille. Mehr und mehr Rastlose buchen Klosteraufenthalte, besuchen Meditationswochen oder übernachten

in Hotels, die Zimmer ohne Radio, TV-Gerät und Internet anbieten. Es ist letztlich das Verlangen danach, sich selbst zu begegnen. Zu ergründen, was im Leben wirklich wichtig ist.

Um unserem Gehirn diesen Erkenntnisprozess zu erleichtern, nützt es, jene vergleichsweise reizarme Umgebung aufzusuchen, in der das Denkorgan einst entstanden ist: die Natur. Studien belegen, dass bereits ein Ausflug in bewaldetes Gebiet unser Gehirn merklich entlastet. Und uns entstresst.

Wahrscheinlich liegt das auch daran, dass wir fern all der flackernden Reize einen Teil von uns selbst spüren, dem viele Menschen in der digitalen Welt oft zu wenig Beachtung schenken: unseren Körper. Und der, so sagt Hüther, war einmal das Bedeutsamste für unser Hirn. □

Der Biologe **Rainer Harf**, 34, ist seit 2010 Redakteur bei GEOkompakt.

Literatur: Hartmut Rosa, „Beschleunigung – die Veränderung der Zeitstrukturen in der Moderne“, Suhrkamp; umfassende, wissenschaftlich fundierte Studie, die einen hervorragenden Überblick über die Geschichte und die Auswirkungen zunehmender Beschleunigung vermittelt.

Zeit für spannendes Wissen mit bis zu 13% Ersparnis!

Gratis
dazu!

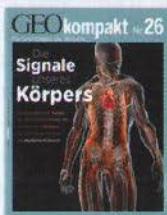
Umhängetasche „Nature“

Schön und praktisch: die Tasche aus extrafester Baumwolle ist ein wahres Raumwunder! Viele Fächer bieten einfachen Zugriff auf alles, was Sie unterwegs brauchen. Maße: ca. 33 x 26 x 11 cm.

- Ein Geschenk gratis!
- Lieferung frei Haus!
- Ein oder mehrere Magazine zur Wahl!



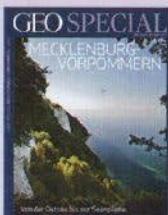
Ja, ich möchte mein/e GEO-Wunschmagazin/e zum Vorzugspreis:



1. Die großen Themen der Allgemeinbildung – visuell opulent, leicht verständlich.



2. Aufwendige Reportagen über den Zustand der Welt.



3. Faszinierende Erkundungen – je Heft ein Land, eine Region oder eine Stadt.



4. Die schönsten Reiseziele der Welt – einladend und informativ.



5. Auf den besonderen Spuren der Geschichte.



6. Rätsel, Bastelspaß und Spiele – für Kinder von 5 bis 7 Jahren.



7. Spielerisch-sympathisch lernen – für Kinder von 8 bis 14 Jahren.

Senden Sie mir bzw. dem Beschenkten die oben ausgewählte(n) Zeitschriften aus der GEO-Familie ab der nächsterreichbaren Ausgabe. Mein Geschenk erhält ich nach Zahlungseingang. Nach 1 Jahr kann ich das Abonnement jederzeit beim GEO-Kunden-Service, 20080 Hamburg, kündigen. Im Voraus bezahlte Beträge erhält ich dann zurück. Dieses Angebot gilt nur in Deutschland und nur, solange der Vorrat reicht; Auslandsangebote auf Anfrage.

Meine persönlichen Angaben: (bitte unbedingt ausfüllen)

Name, Vorname

Geburtsdatum

19

Strasse, Hausnummer

PLZ Wohnort

Telefonnummer E-Mail-Adresse

Ja, ich bin damit einverstanden, dass GEO und Gruner + Jahr mich künftig per Telefon oder E-Mail über interessante Angebote informieren.

Ich bezahle bequem per Bankeinzug: (jährliche Abbuchung)

Bankleitzahl

Kontonummer

Geldinstitut

Ich zahle per Rechnung.

Ich verschenke ein oder mehrere Magazine aus der GEO-Familie an:

(bitte nur ausfüllen, wenn Sie ein oder mehrere Magazine aus der GEO-Familie verschenken möchten)

Name, Vorname des Beschenkten

Geburtsdatum

19

Strasse, Hausnummer

PLZ Wohnort

Telefonnummer

E-Mail-Adresse

Widerrufsrecht: Die Bestellung kann ich innerhalb der folgenden zwei Wochen ohne Begründung beim GEO-Kunden-Service, 20080 Hamburg in Textform (z. B. E-Mail oder Brief) widerrufen. Zur Fristwahrung genügt die rechtzeitige Absendung.

Datum
X
Unterschrift

Bestellen leicht gemacht:

Per Post:

GEO-Kunden-Service,
20080 Hamburg

Per Telefon: (Bitte Bestell-Nr. angeben)

01805/861 80 00

14 Cent/Min. aus dem dt. Festnetz, max. 42 Cent/Min. aus dem dt. Mobilfunknetz.
Abonnement-Service Österreich und Schweiz: +49 1805/861 00 00

Online mit noch mehr Angeboten:

www.geo.de/familie

Aller Laster Anfang?

Langeweile kann dem Körper richtig guttun: Denn erst wenn das Gehirn von Außenreizen nicht gestört wird, kann es sich selbst ordnen und sein volles kreatives Potenzial ausschöpfen

Text: Harald Martenstein

Mein Beruf besteht darin, mir etwas einfallen zu lassen. Ich schreibe Kolumnen, Romane und Reportagen, meistens darf ich frei darüber entscheiden, worüber ich schreibe und wie ich es mache. Es sollte, nach Möglichkeit, originell sein, oder zumindest unterhaltsam. Es macht viel Arbeit. Auf diese Weise bin ich zu einem Experten für Nichtstun und Müßiggang geworden.

Wer nach einer Idee sucht, der lässt den Geist am besten treiben, wie ein Stück Treibholz. Das weiß, so behauptet ich, jeder sogenannte Kreative, egal ob Werber oder Künstler oder Manager.

Manche gehen spazieren, andere spülen das Geschirr, wieder andere sitzen im Café und lesen, ziellos, in der Zeitung. Jeder hat seine Rezepte. Ist das Arbeit? Nennen Sie es, wie Sie wollen. Nennen Sie es ruhig Langeweile.

Kein Mensch, behauptet ich, kann aus einer anstrengenden Konferenz herauskommen oder den Telefonhörer mal eben kurz weglegen und dann etwas wirklich Kreatives zustande bringen, außer vielleicht, es handelt sich um ein Genie.

Der Musiker John Lennon steht vielleicht bei manchen im Verdacht, ein Genie gewesen zu sein. Er war sehr produktiv und

ein großer Anhänger des Nichtstuns. In seinem Song „Watching the Wheels“ heißt es: „Die Leute sagen, ich sei faul. Ich sitze hier bloß herum und schaue zu, wie die Räder sich drehen.“

Die Geschichte der Menschheit, diese Erfolgsgeschichte, stellen wir uns oft als das Ergebnis von Arbeit, Fleiß und Mühe vor. Das stimmt, allerdings nur zum Teil. Die Erfolge unserer Gattung sind genauso das Ergebnis von Träumerei, von Muße und Faulheit. Unser Geist kann fliegen, oh ja. Da oben, in der Luft, sind die Erfindungen, die Geschichten, die nie gedachten Gedanken. Damit der Geist abheben kann, muss der Wind wehen. Der Wind aber weht nur auf einer leeren, freien Fläche.

Das alles glaube ich zu wissen, aus Erfahrung, aber es scheint auch eine wissenschaftliche Erklärung dafür zu geben. Marcus Raichle, ein Hirnforscher aus den USA, hat 1998 etwas entdeckt, was er „default network“ nannte, das Leerlaufnetzwerk des Gehirns. Bestimmte Hirnregionen werden nur dann richtig aktiv, wenn wir, wie wir glauben, an gar nichts denken oder, wie ich es nenne, völlig entspannt herumhängen.

Wir können offenbar denken, ohne es zu merken.

Es handelt sich dabei um besonders gut durchblutete Hirnregionen, und sie arbeiten auch dann, wenn wir träumen. Während dieser Zeit befasst das Gehirn sich ganz mit sich selber, es nimmt keine oder nur wenige Reize von außen auf.

Möglicherweise kann man diesen Vorgang mit dem Defragmentieren eines Computers vergleichen, wenn die Daten auf der Festplatte neu geordnet werden. Jeder Computer geht kaputt, wenn er sich nicht

von Zeit zu Zeit mit sich selbst beschäftigen darf.

„Das Gehirn geht in sich selbst spazieren“ – mit diesem schönen Satz zitiert der Wissenschaftsjournalist Ulrich Schnabel den Wissenschaftler Wolf Singer. Schnabel, der ein Buch namens „Muße“ geschrieben hat, glaubt, unter Berufung auf Hirnforscher wie Singer und Kai Vogeley, dass wir beim Nichtstun hinabtauchen in unser inneres Wissen, das aus längst versunkenen Kindheitserinnerungen, Unbewusstem und halb Vergessenem besteht: ein Schatz, der uns nur in den Momenten des verträumten Nichtstuns zur Verfügung steht.

Das Gehirn schafft, in solchen glücklichen Momenten, neue Verknüpfungen. Vielleicht verknüpft es ja eine alte Idee aus unserer Schulzeit mit einem Satz aus einem Buch, das wir längst vergessen hatten, und einem Gesprächssetzen aus der vergangenen Woche zu einem Geistesblitz, zu einer Problemlösung. Jeder kennt das. Man hat einen Namen vergessen. Man martert das Gedächtnis, ohne Ergebnis. Zwei Stunden später spuckt das Gehirn den Namen aus, einfach so. Man muss das Gehirn nur in Ruhe lassen.

Aber ich will die Langeweile nicht nur deshalb preisen, weil sie

nützlich ist und weil sie in Wirklichkeit eben auch eine Art Arbeitszeit darstellt, zumindest für Schreiber wie mich. Langeweile ist auch ein Selbstzweck. Langeweile ist ein Akt der Selbstverteidigung, sie schützt vor Überforderung.

Wer sich nicht langweilen kann, der muss immer etwas tun. Am Ende dieses Weges kann der Zusammenbruch stehen, der Burn-out, wie ihn die Professorin Miriam Meckel in ihrem Buch „Brief an mein Leben“ beschreibt. Statt sich freiwillig ruhigzustellen, wird man eben durch den Zusammenbruch zur Ruhe gezwungen. Die Konzentrationsfähigkeit ist weg – weil man sich zu lange auf zu vieles gleichzeitig konzentriert hat.

Miriam Meckel hat erlebt, wie sie durch Multitasking, den Versuch, Mehreres gleichzeitig zu tun, nicht schneller wurde, sondern langsamer. Der Versuch, alles zu erledigen und perfekt zu funktionieren, endet mit dem Ergebnis, dass fast nichts mehr zu Ende gebracht wird.

Es wird leider immer schwieriger, sich zu langweilen. Einerseits, weil überall Ablenkung und Zerstreuung angeboten werden, in den Medien, im Computer, auf Videowänden in der U-Bahn, im Mobiltelefon.

Andererseits sind die Grenzen zwischen Arbeitszeit und Freizeit durchlässig geworden, man soll überall jederzeit ansprechbar sein. Kein Mensch findet das gut, trotzdem finden sich fast alle damit ab.

Dagegen hilft nur Rebellion. Ich versuche es. Wenn Sie mich anrufen, werden Sie feststellen,

dass ich nicht immer erreichbar bin. Dringende Mails beantworte ich oft erst Tage später. Wenn es wirklich dringend ist, kommt sowieso eine zweite Mail. Stattdessen sitze ich herum. Oder zupfe Unkraut im Garten.

ein volles Programm und ein Kinderzimmer voller Zeug. Ich möchte das nicht groß anprangern. Aber eine meiner schönsten Kindheitserinnerungen beginnt an einem langweiligen Nachmittag, als niemand sich um mich kümmerte.



Denken ist nicht immer Ergebnis von Fleiß und Mühe. Gerade in entspannten Stunden ist unser Hirn zu Höchstleistungen imstande, da es nur dann die vielen Gedächtnisinhalte sortieren kann

An spitze Bemerkungen und strafende Blicke habe ich mich gewöhnt. Ich bin nicht bösartig oder gleichgültig, ich versuche nur, als Autor zu überleben. Ich habe keine Ausreden, außer, dass ich ohne Langeweile nicht schreiben kann. Meine zwei Romane sind im Kopf entstanden, während ich im Garten arbeitete oder spazieren ging. Aber das, wie gesagt, ist nur die halbe Wahrheit, Langeweile macht auch dann glücklich, wenn man nicht schreiben muss.

Am schwierigsten ist es für die Kinder. Die Kinder haben keine Widerstandskräfte gegen die Welt, die sie umgibt. Sie halten die Welt, die sie vorfinden, für das einzig Normale. Die meisten Kinder haben

An diesem Tag entdeckte ich den alten Knopfkasten meiner Großmutter. Hunderte von Knöpfen, fast alle verschieden, mit denen ich zu spielen begann und in den folgenden Jahren immer wieder gespielt habe, sogar noch in der Pubertät. Der Knopfkasten war meine Welt, in der ich Reiche gründete, Geschichten erfand und Abenteuer erlebte.

Das wäre nie geschehen, wenn ich mich nicht gelangweilt hätte. □

Harald Martenstein, 57, ist Schriftsteller („Gefühlte Nähe“), Kolumnist der „Zeit“ und Redakteur des „Tagesspiegel“ in Berlin.

Die ERFINDUNG des JAHRES

Die Einteilung des Jahres in 365 Tage und zwölf Monate wirkt denkbar simpel. Doch dahinter verbergen sich jahrtausendelange Beobachtungen und Berechnungen – und noch heute ist kein Kalender gänzlich fehlerfrei

Text: Dirk Liesemer

Gemäß dem römischen Staatskalender ist es September, als Gaius Julius Caesar, Feldherr und oberster Priester des Imperiums, im Jahr 47 v. Chr. nach Italien zurückkehrt. Der Zeitrechnung zufolge könnten jetzt Quitten, Feigen und Weintrauben geerntet werden.

Doch die Natur bezeugt etwas anderes: Die Früchte sind noch klein und müssen erst reifen, die Sonne steht mittags weit oben am Himmel. Es ist ganz offensichtlich Hochsommer – der römische Kalender ist der tatsächlichen Jahreszeit um Monate enteilt.

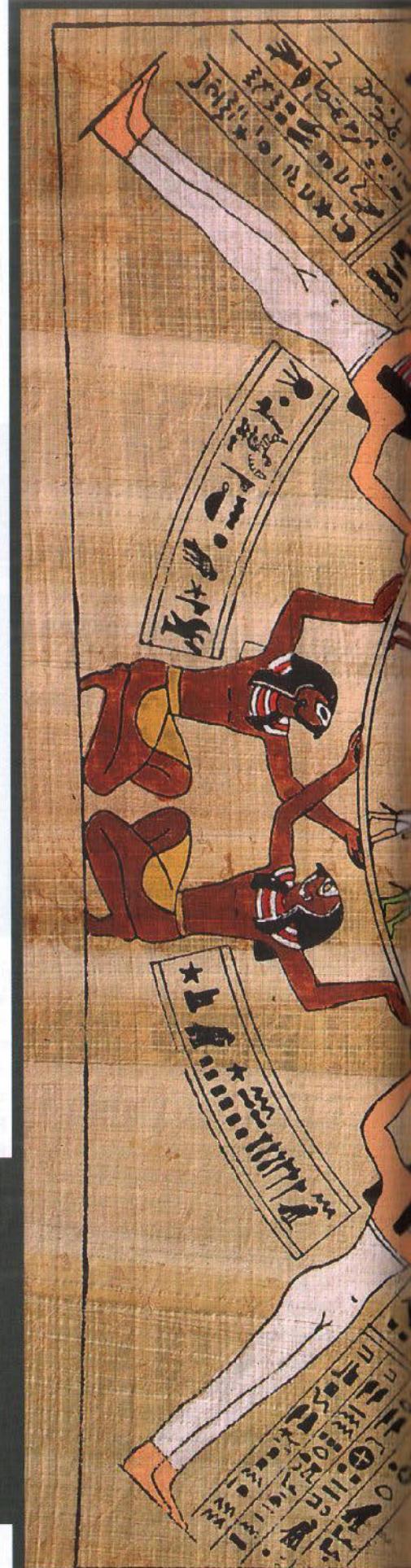
Die Herren der Zeitrechnung, die *pontifices*, verwalten den Kalender schon seit Langem nachlässig – und willkürlich. Sie schalten nach Belieben ganze Monate

ein, sodass sich Markttage, Gerichtstermine und staatsreligiöse Feiern kaum weit im Voraus bestimmen lassen.

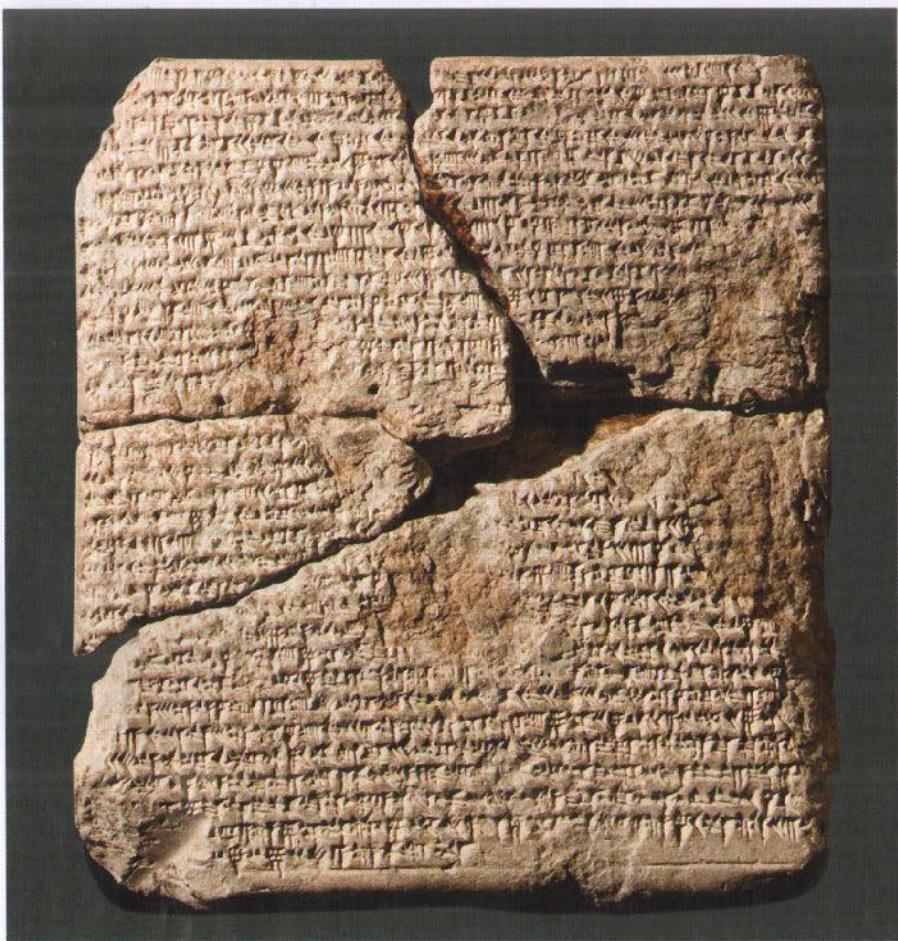
Das Fruchtbarkeitsfest der Liberalia etwa findet nach dem römischen Kalender zwar stets am 17. März statt. Doch noch im Februar kann niemand in Rom sicher sein, wann dieser Tag kommen

Ägypten, 50 v. Chr.

Diese Kalenderdarstellung beruht auf einem Deckenrelief aus dem Hathor-Tempel von Dendera, rund 50 Kilometer nördlich von Luxor. Göttinnen und falkenköpfige Gottwesen tragen das kreisförmige Himmelsgewölbe, auf dessen Rand 36 Figuren schreiten. Jede von ihnen symbolisiert eine Woche, die zehn Tage andauert. Insgesamt repräsentieren sie ein ganzes Kalenderjahr – es umfasst 360 Tage. Das Innere des Kreises stellt eine bestimmte Planeten- und Sternenkonstellation dar, die wohl alle 1000 Jahre am Nordhimmel erscheint und verschiedene Sternbilder (etwa Steinbock, Stier und Skorpion) zeigt







wird. Denn womöglich hängen die Priester einen Schaltmonat an den Februar an oder schieben ihn gar mitten im Monat ein.

Vor allem aber sind die Pontifexes, hohe sakrale Beamte, bestechlich. Manchmal verlängern sie plötzlich ein Kalenderjahr, weil Steuerpächter dann mehr Steuern einziehen können. Oder Magistrate erreichen, dass sie länger im Amt bleiben und weiter über Gesetze mitentscheiden.

Es ist daher eher Zufall, wenn die römischen Kalenderdaten dem Sonnenstand und damit der Witterung entsprechen. Und folglich richten sich etwa die Bauern nicht mehr nach dem Staatskalender. Sie planen Aussaat und Ernte vorwiegend nach Sternphasen. Auch die Armeeführer schätzen die Jahreszeit lieber nach dem Sonnenstand.

„Die römischen Feldherren siegten immer, aber sie wussten nie, an welchem Tag“, wird der Philosoph Voltaire später über das kalendarische Wirrwarr im Imperium Romanum spotten.

Caesar aber hat nun genug von dem Chaos und beruft eine Kommission von

Astronomen ein. Die sollen endlich einen Kalender berechnen, der sich ausschließlich nach dem Stand der Sonne sowie nach den Jahreszeiten richtet. In der zweiten Hälfte des Jahres 46 v. Chr. (nach heutiger Zeitrechnung) ist es so weit: Caesar präsentiert im Senat einen revolutionär neuen Ansatz. Der wird als „Julianischer Kalender“ in die Geschichte eingehen und zu Caesars größtem Sieg werden. Mehr als 1600 Jahre

Vor 7000 Jahren errichteten Menschen im Saaletal einen monströsen Kalender

lang wird er in Europa die Zeitrechnung bestimmen, in manchen Regionen sogar zwei Millenien lang.

Doch die Geschichte dieses Kalenders beginnt viel früher als zu Caesars Zeiten. Sie gründet sich auf die verblüffenden Vorarbeiten griechischer, ägyptischer und babylonischer Sternendeuter. Und die wiederum stützen sich auf die Naturbeobachtungen ihrer Ahnen.

Schon die Menschen der Steinzeit registrieren stets wiederkehrende Phänomene. Sie bemerken, dass Tiere zu bestimmten Zeiten ihre Jungen bekommen und dann leichter zu jagen sind. Sie erahnen, wann bestimmte Pflanzen Früchte tragen und Nahrung versprechen. Sie kennen die jahreszeitlichen Wanderbewegungen ihrer Beutetiere wie deren tagesrhythmische Aktivität – und können ihr Jagdverhalten darauf abstimmen.

Wer die zeitlichen Rhythmen durchschaut, vermag sich besser auf die Natur einzustellen und hat größere Überlebenschancen. Vermutlich deshalb bemühen sich die Menschen schon früh, das amorphe Verhalten der Zeit in den Griff zu bekommen und ihm Struktur zu

Mesopotamien, 4. Jh. v. Chr.

Gelehrte im Zweistromland fertigten astronomische Tagebücher: Auf Tontafeln wie dieser verzeichneten sie in Keilschrift die Dauer des letzten Monats (29 oder 30 Tage), Ereignisse wie Mond- und Sonnenfinsternis, die Position der damals bekannten Planeten sowie den Wasserstand des Euphrat

geben. Sie versuchen, im Fluss der Ereignisse eine tiefere Ordnung zu finden und ihn in kleinere Einheiten und Untereinheiten zu zerlegen, die sich

regelmäßig wiederholen. So hoffen sie zu Herren der Zeit zu werden.

Dabei orientieren sie sich vor allem an drei Zyklen, die sich ihnen schon früh offenbaren:

- dem Tag, der von einem Sonnenaufgang zum nächsten währt;
- dem Monat, der von Neulicht zu Neulicht dauert, also immer in jenem Augenblick beginnt, in dem erstmals die schmale Sichel des zunehmenden

Mondes wie aus dem Nichts heraus am Himmel erstrahlt;

- dem Jahr mit einer regelmäßigen Abfolge mehrerer Witterungsperioden.

Bereits um 12 000 v. Chr. stecken die Steinzeitmenschen Stäbe senkrecht in die Erde und lernen, den Schatten zu deuten: Der kürzeste Schatten des Tages fällt, wenn die Sonne mittags den höchsten Punkt am Himmel erreicht.

So lässt sich nicht nur der Gang eines Tages verfolgen, sondern auch die Ver-

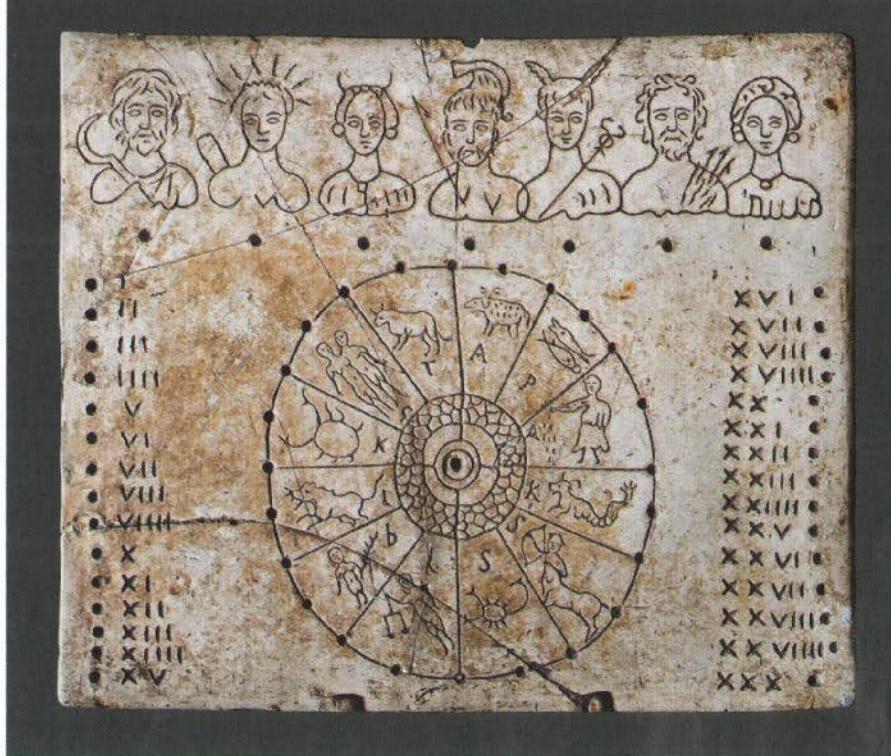
denen Licht und Dunkelheit gleich lang dauern: die Tagundnachtgleichen.

Sowohl die Tagundnachtgleichen als auch die Sonnenwenden gelten in der Steinzeit als magische Tage. Sie inspirieren zu kultischen Festen und zum Bau monströser Kalenderanlagen: Im Saale-tal etwa errichten Menschen vor 7000 Jahren einen kreisförmigen Graben von 75 Meter Durchmesser; im englischen Stonehenge turmen sie gewaltige Felsblöcke zu Monumenten auf; und in Mit-

ständen und der Jahreszeiten. Anders als die Deuter der Sonne in den Steinzeitkulturen nutzen Mesopotamiens Gelehrte im 3. Jahrtausend v. Chr. vor allem die nächtlichen Gestirne für die Zeitbestimmung – womöglich, weil die

Rom, 50 n. Chr.

47 v. Chr. führte Caesar den auf diesem Steinblock dargestellten Julianischen Kalender ein: Die Planeten-Götter, etwa Saturn oder Venus, stehen für die sieben Tage einer Woche. Die Tage des Monats sind in Spalten (r. und l.) angeordnet. Der Jahreszyklus wird in zwölf Monate und zwölf Sternzeichen unterteilt (Mitte)



änderung des Sonnenstandes im Verlauf des Jahres. Denn nie ist beispielsweise der Schatten kürzer als an jenem Sommertag, an dem die Sonne ihren höchsten Himmelpunkt überhaupt erklimmt. Dann ist (außer in den Tropen) Sommer-sonnenwende. Von nun an werden die Tage wieder kürzer und die Schatten länger – bis zur Wintersonnenwende.

Heute wissen wir, weshalb: Die Erdachse ist gegenüber der Ebene der Umlaufbahn des Planeten um rund 23 Grad geneigt, sodass die Sonne je nach Jahreszeit aus verschiedenen Winkeln auf die Erde scheint (siehe Seite 136.)

Zwischen diesen beiden Wendepunkten liegen zudem zwei Tage, an

telamerika konstruieren die Maya später ausgeklügelte Sonnenpyramiden.

All diese Kalenderbauten sind am Zentralgestirn ausgerichtet. An den besonderen Tagen scheint das Licht durch ein bestimmtes Loch oder fällt zwischen

Sonne in der Wüstengegend zwischen Euphrat und Tigris stark blendet oder sich ihr Bahnverlauf zwischen Sommer und Winter weniger stark unterscheidet als im Norden.

Zudem erscheint ja die Form unseres Zentralgestirns unveränderlich, während sich das Aussehen des Mondes im Monatsrhythmus ändert und sich gut als Zeitgeber nutzen lässt.

Daher beginnt der Tag für die Sternendeuter des Zweistromlands stets mit der Abenddämmerung: mit dem Tanz der Gestirne. Die hellsten Lichtpunkte verbinden sie zu Sternzeichen. Im weiten Bogen kreisen Waage, Flusskrebs, Löwe, Feuerpfeilschütze am Nachthimmel. Gehen abends im Osten auf, morgens im Westen unter.

Die Astronomen leiten aus diesem kosmischen Schauspiel erste Gesetze ab: Wenn beispielsweise bestimmte Sternbilder am Abendhimmel aufziehen,

In Mesopotamien nutzten Gelehrte den Lauf der Gestirne zur Zeitbestimmung

zwei Steinblöcken hindurch. Das geheime Wissen um diese Sonnendaten bewahren wohl in allen Kulturen die Priesterastronomen. Es verleiht ihnen die Macht zur Vorhersage der Sonnen-

stehen Dattelernte, Getreidesaat oder Weinlese an. Und kein Gestirn beobachten sie aufmerksamer als den Mond. Mal ähnelt er für sie einer „Sichel“ (zunehmender Mond), mal einer „Königs-

DIE ZEHN ZEITRECHNUNGEN

Weshalb nicht alle Menschen im 21. Jahrhundert leben

Bahai: 2011 ist für sie das Jahr 168

Die Bahai, Anhänger einer monotheistischen Religion persischen Ursprungs, kennen ein Kalenderjahr mit 19 Monaten zu 19 Tagen, das um vier Tage verlängert wird. Bei Bedarf kann ein Schalttag eingeschoben werden. Die Zeitrechnung des Bahai-Kalenders beginnt am 21. März 1844 mit der Erklärung des Bab, eines Vordenkers dieser Offenbarungsreligion.

Bengalischer Kalender: 1418

Bezieht sich wie der islamische auf den Auszug Mohammeds aus Mekka. Wegen der anfänglichen Vermischung von Sonnen- und Mondjahren schreibt der bengalische Kalender jedoch erst das Jahr 1418. Erst im Jahr 1584 unserer Zeit löste ein Sonnenkalender die verschiedenen bestehenden Systeme endgültig ab. Der Großmogul von Indien wollte einheitliche Termine für die Steuereintreibung schaffen. Heute wird dieser Kalender unter anderem in Westbengalen, Assam, Ostindien und Bangladesch verwendet.

Muslime: 1432

Der islamische Kalender spielt vor allem eine religiöse Rolle. Er legt die Feiertage der Muslime fest. Seine Zeitrechnung beginnt mit dem 16. Juli 622 und der Hidscha, der Flucht des Propheten Mohammed von Mekka nach Medina. Als reiner Lunarkalender richtet er sich nach zwölf Mondmonaten. Das Jahr ist etwa elf Tage kürzer als im gregorianischen Kalender, 33 Mondjahre entsprechen also 32 Sonnenjahren.

Kopten: 1727

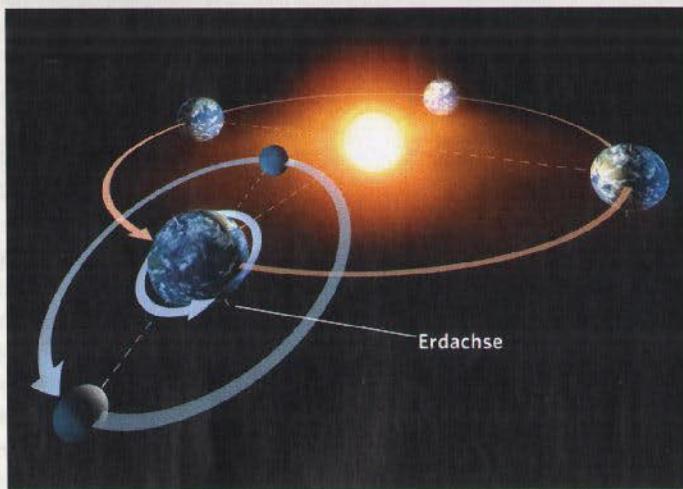
Dieser Kalender geht auf den altägyptischen zurück: Zwölf Monate zu 30 Tagen werden durch fünf (beziehungsweise in

Schaltjahren sechs) Einschubtage ergänzt.

Die Zeitrechnung beginnt mit der Thronbesteigung des römischen Kaisers Diokletian am 29. August 284 christlicher Zeitrechnung.

Buddhisten: 2554

Das Jahr 543 v. Chr. – das vermeintliche Todesjahr Siddhartha Gautamas – ist der Nullpunkt der buddhistischen Zeitrechnung. Der Jahresanfang ist aber nicht genau festgelegt, sondern fällt – je nach Kulturkreis – mal auf den 1. Januar, mal auf den ersten Neumond im Frühling, mal auf den vierten Vollmond des Mondjahres im April.



Um die Zeit in Einheiten zu unterteilen, orientieren sich Menschen an drei astronomischen Phänomenen, die jedoch unabhängig voneinander ablaufen: Die Rotation der Erde um sich selbst ergibt einen Tag; die Drehung des Mondes um die Erde dauert einen Monat (oder gut 29,5 Tage); die Umlaufzeit der Erde um die Sonne beträgt ein Jahr (rund 365,25 Tage). Da die Erdachse gegenüber der Erdumlaufbahn um 23 Grad geneigt ist, treffen Sonnenstrahlen – etwa in Europa – je nach Jahreszeit in verschiedenen Winkeln auf sie

Suriyakati-Kalender: 2554

1888 führte König Rama V. einen neuen Kalender in Siam (heute Thailand) ein. Der Suriyakati beziffert die Jahre nach buddhistischer Zählweise, basiert aber auf dem Gregorianischen Kalender. Mit ihm werden offizielle Termine festgelegt, für Feiertage dient nach wie vor der alte Mondkalender. Seit 1940 beginnt das neue Jahr am 1. Januar statt wie zuvor am 1. April.

Porhalaan: 2961

Die Batak, eine Volksgruppe auf Sumatra, nutzen einen Mondkalender mit zwölf Monaten zu je 30 Tagen sowie einem Schaltmonat. Der Porhalaan dient dazu, Glück und Unglück bringende Tage voneinander zu unterscheiden. Die Führung des Kalenders wird traditionell einer bestimmten Person übertragen, dem *datu*. Er legt die Termine für Feste und wichtige Tätigkeiten fest.

Korea: 4344/100

Der traditionelle koreanische Kalender hat 24 Monate. Er beginnt 2333 v. Chr., als der mythische erste König Koreas, Dangun Wanggeom, den Thron besteigt. In Nordkorea wird anders gezählt: Dort markiert die Geburt des Diktators Kim Il Sung im Jahr 1912 den Beginn der Zeitrechnung.

Chinesen: 4708

Seit der Einführung des westlichen Kalenders berechnen die Chinesen nur noch Festtage mit dem traditionellen Kalender. Dabei gibt es keine festgelegte Länge der Monate. Der Mondmonat wird, orientiert an astronomischen Ereignissen, durch einzelne Tage ergänzt. Manchmal müssen sogar ganze Schaltmonate eingefügt werden.

Jüdischer Kalender: 5771

Die Erschaffung der Welt ist der Beginn der jüdischen Zeitrechnung. Sie wurde gemäß dem Alten Testament auf das Jahr 3761 v. Chr. festgelegt. Zwölf Mondumläufe bilden das nur 354 Tage umfassende Jahr. Innerhalb von 19 Jahren sind deshalb sieben Schaltjahre mit je einem zusätzlichen Monat zur Synchronisation des jüdischen Kalenders mit dem Sonnenjahr nötig.

Andreas Schneider

Das Problem der Astronomen: Die kosmischen Rhythmen passen nicht zusammen

mütze“ (Vollmond), dann einer „Niere“ (abnehmender Mond), zuweilen verschwindet er ganz. Von einer Form zur nächsten dauert es ungefähr sieben Tage. Diese Periode fassen die Zweistromländer zur Woche zusammen.

Jeden der Wochentage benennen sie nach einem Gestirn, dessen Name später ins Lateinische übertragen wird: Sonne, Mond, Mars, Merkur, Jupiter, Venus und Saturn. Im Deutschen offenbaren der Sonn- und Montag noch diese Herkunft. Im Französischen erinnern die Tage „Mardi“, „Mercredi“, „Jeudi“, „Vendredi“ an die Götter Mars, Merkur, Jupiter und Venus, im englischen „Saturday“ klingt noch der Saturn nach.

Später gelingen den Babyloniern verblüffend präzise Messungen. Sie benutzen Schalen mit einem geeichten Loch

im Boden, durch das stetig Wasser tropft. Dank einer Skala an der Innenseite können sie Zeiteinheiten bestimmen, während das Gefäß langsam und gleichmäßig ausläuft. Auf diese Weise messen sie den Mondmonat, also die Zeit von Neulicht zu Neulicht.

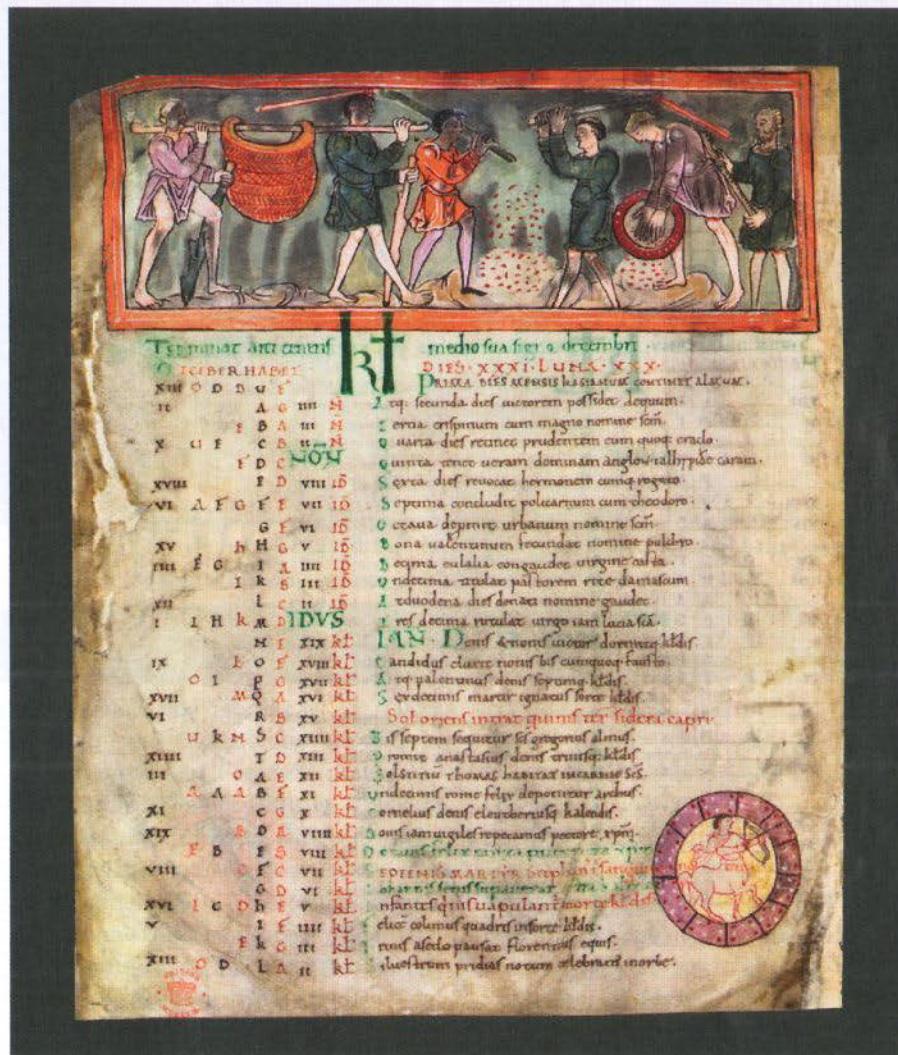
Da dieses Neulicht jedoch nicht wie ein Blitz aufzuckt, sondern allmählich am Himmel sichtbar wird, müssen die Babylonier ihre Messungen Hunderte Male wiederholen. Dann mitteln sie alle gezählten Werte und bestimmen so den Mondmonat – und zwar verblüffend genau. Er dauert nach heutigen Erkenntnissen 29 Tage, zwölf Stunden, 44 Minuten und 2,9 Sekunden: Damit liegen die

Astronomen aus dem Zweistromland nur um 0,4 Sekunden falsch.

Ein Problem allerdings kann auch diese erstaunliche Präzision nicht lösen: Der Monat lässt sich nicht als genaues Vielfaches von Tagen angeben. Und auch das Jahr ist nicht als exakte Anzahl von Mond-Zyklen zu beschreiben – die Rhythmen passen nicht zusammen.

England, 11. Jh. n. Chr.

Anhand eines ewigen Kalenders konnten Angelsachsen Jahr für Jahr Wochentag und Mondphase bestimmen. Dazu diente ein komplexes Rechensystem, das auf Buchstaben und Zahlen (linke Bildhälfte) basierte. Zudem listete jedes Kalenderblatt (hier für Dezember) alle Festtage auf, zeigte das Sternzeichen des Monats (Schütze) und illustrierte verschiedene bäuerliche Tätigkeiten wie die Verarbeitung von Korn



Und doch versuchen die Menschen Tage zu Monaten zu gruppieren und Monate zu Jahren zu reihen: im Bestreben, eine Ordnung zu ergründen, die die Natur nicht vorgesehen hat.

DENN BEI DER ROTATION der Erde um sich selbst (die die Tageslänge bestimmt), beim Umlauf des Mondes um die Erde (der den Monat festlegt) und bei der Reise der Erde um die Sonne (die das Jahr definiert), handelt es sich um drei voneinander getrennte physikalische Vorgänge. Die Längen der drei Rhythmen haben nichts miteinander zu tun.

Das ist das Grundproblem, an dem alle Kalender-Erfinder immer wieder gescheitert sind und das trotz enorm genauer Atomuhren bis heute Änderungen am Kalender nötig macht.

Doch die Menschen früherer Zeiten wissen von diesen Naturgesetzen nichts. Und so kommt es immer wieder zu Kalender-Entwürfen, die abenteuerliche Korrekturen erfordern, auch bei den Gelehrten aus Mesopotamien. Weil sie

ermittelt haben, dass der Mondumlauf 29,5 Tage dauert, zählen sie die Monate immer abwechselnd zu 29 und 30 Tagen. Zwölf Monate addieren sie zu einem „Mondjahr“ von 354 Tagen. Es misst gut elf Tage weniger als ein Sonnenjahr, also ein Umlauf der Erde um die Sonne. Der Jahresanfang „wandert“ somit langsam durch alle Jahreszeiten.

Zwar hilft dieser Kalender den Nomaden, sich zu einer bestimmten Mondphase an einer Oase zu verabreden. Doch die Bauern am Euphrat können die lebenspendende jährliche Flut mit seiner Hilfe kaum errechnen.

Um den Kalender zu verbessern, erforschen die Astronomen weiter den Nachthimmel. Auf Keilschrifttafeln notieren sie ab 2340 v. Chr. die Morgenaufläufe von 34 Gestirnen, um deren verborgene Mechanik zu ermitteln.

Dank der Aufzeichnungen vermögen sie schließlich aus dem Stand der Sterne präzise Sonnenwendungen und Tagundnachtgleichen vorherzusagen sowie die Zeit für Aussaat und Ernte zu bestimmen.

Auch die Jagd- und Brunftzeiten sowie die davon abhängigen Markttage können sie langfristig festlegen und zudem Heeresversammlungen, religiöse Feste und politische Treffen planen.

Mit diesem Wissen versuchen die Priester den Mondkalender an den Lauf der Sonne zu koppeln: Dazu zählen sie unter anderem einfach alle paar Jahre den letzten Monat des Kalenderjahres doppelt: Auf Adar folgt Adar II – und dann beginnt das neue Jahr.

Im Jahr 380 v. Chr., finden die Babylonier endlich eine exakte rechnerische Lösung, die sie von griechischen Astronomen übernehmen: Nach 235 Mondmonaten (19 Sonnenjahren) – also alle 6940 Tage – erreichen Sonne und Mond wieder die gleichen Positionen am Himmel. Daraus entwickeln die Priester einen komplizierten 19-Jahres-Rhythmus aus zwölf Jahren mit je zwölf Mondzyklen sowie sieben Jahren zu je 13 Mondzyklen.

Auch die Ägypter beginnen früh, die Zyklen der Natur zu erforschen. Spätestens 3000 v. Chr. betrachten die Priesterastronomen jeden Hochsommer den Morgenhimmlen. Sie finden heraus: Wenn etwa Sirius, der hellste Stern am Firmament, kurz vor Sonnenaufgang über den Horizont steigt und auffunkelt, kündigt er ein beeindruckendes Naturschauspiel an, denn nur wenige Tage später wird der Nil die Felder überfluten (nach heutigem Wissen geschah der Aufgang des Sirius zu jener Zeit um den 19. Juli).

Weil die Flut Schlamm auf die Felder wälzt und eine Zeit der Fruchtbarkeit mit sich bringt, wird sie zum Symbol eines Neubeginns. Und damit zum Beginn des Jahres. Auch für die Menschen an anderen großen Strömen, etwa am Euphrat und Indus, fängt das Jahr an, sobald ihr Strom über das Ufer tritt.

Für die Zeitberechnung der Ägypter werden daher Sonne und Sirius die entscheidenden Gestirne. Ihr Kalender umfasst zwölf Monate zu jeweils 30 Tagen. Am Ende des Jahres fügen sie fünf zusätzliche Tage ein. Es misst somit 365 Tage: So viele Tage haben die Menschen von einer Flut zur nächsten gezählt – vermutlich, indem sie täglich eine Kerbe in die Rippe eines Palmlatts schnitten.

Sie teilen auch Tag und Nacht in jeweils zwölf Einheiten. Wenn jedoch im Winter die Nächte länger sind, dann dauert auch jede der zwölf „Nachtstunden“ länger (die „Tagstunden“ sind dementsprechend kürzer – sie dauern nur rund 50 Minuten). Diese Stundenordnung wird für Jahrtausende das Leben in Ägypten (und Europa) prägen. Erst mit der Erfindung der mechanischen Uhr im Mittelalter werden die gleich langen Stunden eingeführt.

Die Mondphasen dagegen berücksichtigt dieser Kalender der Ägypter nicht, genauso wenig wie es später Caesar tun wird. Und deshalb rücken

die Daten des Vollmonds auch heute noch von Jahr zu Jahr auf andere Tage.

Der ägyptische Kalender aber ist noch immer nicht exakt. Alle 60 Jahre verschiebt er sich um rund 15 Tage gegenüber dem Stand der Sonne. Offenbar

Maya, 1500 n. Chr.

Eines der komplexesten Kalendersysteme überhaupt entwickelten die Maya: Das Sonnenjahr teilten sie in 18 Monate zu je 20 Tagen und ergänzten am Ende fünf weitere Tage. Die Sonnenjahre standen mit einem zweiten Zyklus, einem 260 Tage umfassenden Ritualkalender in Verbindung. Daraus folgte ein Turnus von 52 unterschiedlichen Jahren. Auf Kalenderblättern hielten die Maya die Tage und Monate eines bestimmten Sonnenjahrs in Form komplexer Symbole fest, die hier auf der linken Seite in einer Säule übereinanderstehen. Daneben sind Neujahrsriten zu sehen, die die Götter milde stimmen sollten. So sitzt etwa auf dem linken Blatt ein Priester mit Fackel vor einem Opferkrug (l. o.), bei den anderen Gestalten handelt es sich um Gottheiten und eine Vision des Priesters. Mitunter zeigen die Kalenderdarstellungen verschiedene Opfertiere – etwa Vögel und Hunde (rechtes Blatt)

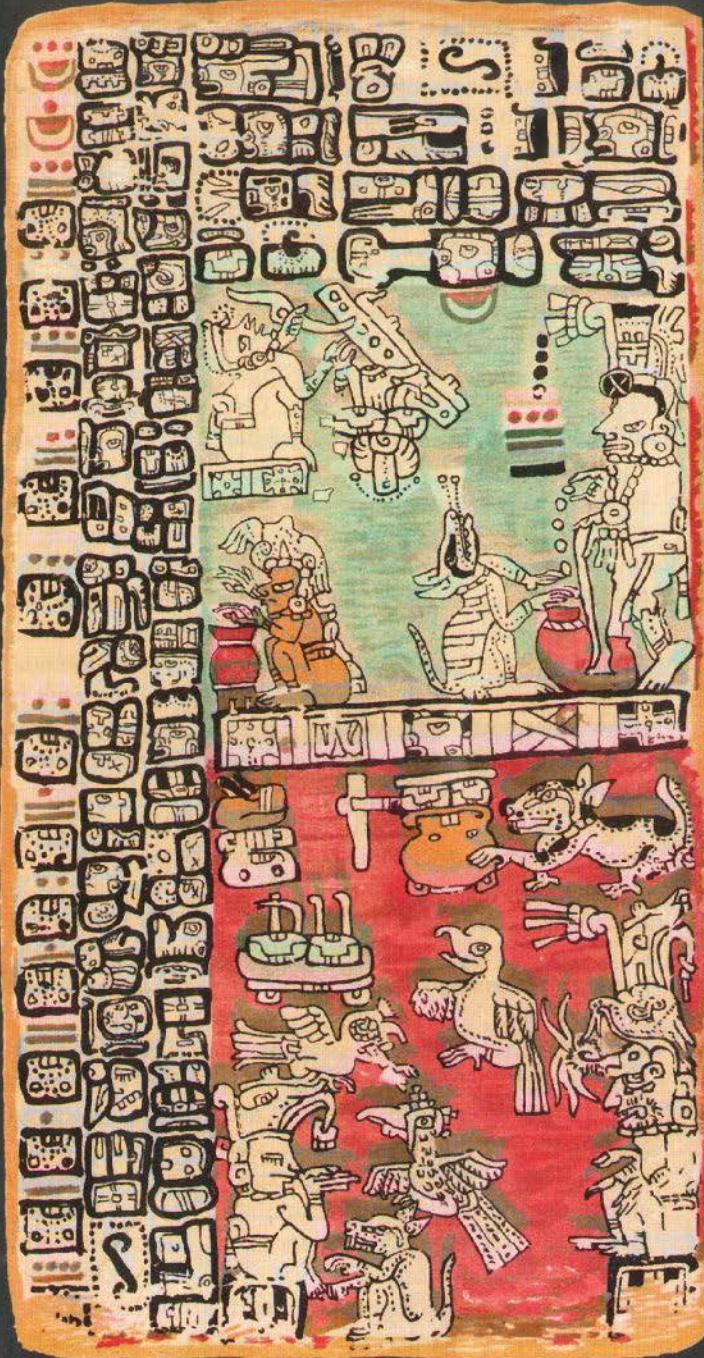
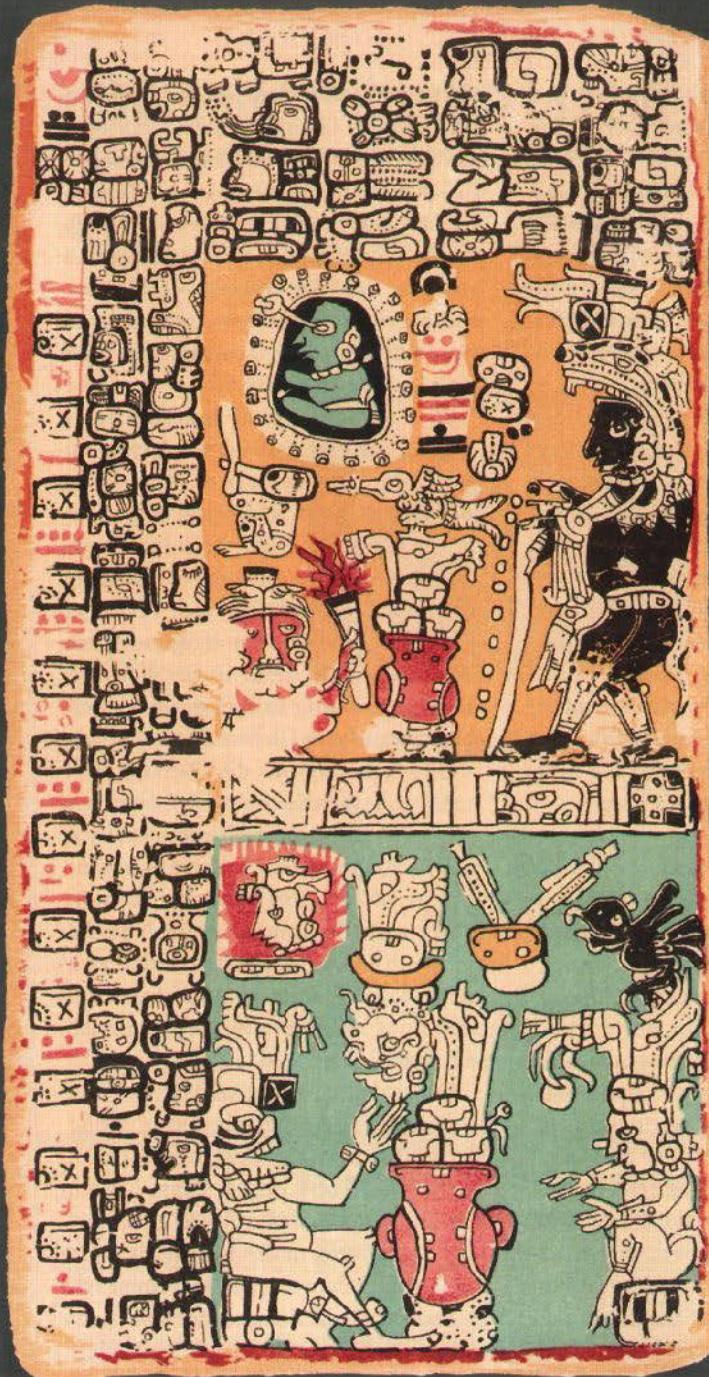
währt der Umlauf der Erde um die Sonne einige Stunden länger als 365 Tage.

Um das auszugleichen, korrigieren die Priester den Kalender von Zeit zu Zeit willkürlich. Erst im Jahr 238 v. Chr. ordnet König Ptolemaios III. eine systematische Kalenderreform an. Jedes vierte Jahr, so dekretiert er, soll ein 366. Tag dazwischen geschaltet werden. Doch sein Befehl wird nicht befolgt. Die Priester fühlen sich offenbar bevormundet und fürchten um ihre Machtstellung. Es ist für sie von Vorteil, wenn die Daten ein Ge-

Nach 128 Jahren erst wich der Julianische Kalender einen Tag vom Sonnenstand ab

schen Uhr im Mittelalter werden die gleich langen Stunden eingeführt.

Die Mondphasen dagegen berücksichtigt dieser Kalender der Ägypter nicht, genauso wenig wie es später Caesar tun wird. Und deshalb rücken



heimnis sind. Daher lassen sie es sich nicht nehmen, das Fest der Nilschwelle, des Durchstichs der Dämme und der Ernte weiterhin selbst anzukündigen.

Erst Caesars Kommission, zu der auch der Astronom Sosigenes aus Alexandria zählt, wird die ägyptische Schaltregel wieder aufgreifen und offiziell einführen.

Verglichen mit der recht eleganten ägyptischen Zeitrechnung, ist der prä-

julianische römische Kalender ein chronologisches Monstrum. Nur Eingeweihten ist er genau bekannt. Anfangs dauert ein Jahr bei ihm rätselhafte 304 Tage. Dann strecken ihn die Priesterastronomen auf ein Mondjahr von 355 Tagen. Manche Monate sind 28 Tage lang, andere 31 Tage. Daher stimmt kaum ein Monat mit einem Mondmonat überein.

Später richtet man den Kalender am Sonnenstand aus, das Jahr wird

durch Schaltmonate auf durchschnittlich 366,25 Tage verlängert (die Jahre dauern im Wechsel 355, 378, 355, 377 Tage). Doch mal vergessen die Priester die Schaltmonate, dann schieben sie sie willkürlich ein. Damit die Bürger wissen, wann ein Monat beginnt, wird er öffentlich ausgerufen. (Das lateinische Wort *calendae* bedeutet denn auch: „erster Tag des Monats“; ursprünglich stammt es aus dem Griechischen und

meint: „verkünden, ausrufen“ – in diesem Fall das neue Licht bei Neumond.)

Als Caesar 47 v. Chr. nach Rom zurückkehrt und das Chaos mit seiner Kalenderreform endlich beenden will, setzt er vermutlich ausschließlich auf auswärtige Astronomen. Sie sollen das Jahr einzig nach der Sonne bemessen.

Wahrscheinlich stützen sie sich auf die Berechnungen des Griechen Hipparchos, der im 2. Jahrhundert v. Chr. die Länge des Sonnenjahres mithilfe spezieller Geräte zur Winkelmessung ermittelt hat. Hipparchos ist auf eine Länge von 365 Tagen, fünf Stunden, 55 Minuten, zwölf Sekunden gekommen (heute weiß man, dass sein Jahr um sechs Minuten, 26 Sekunden zu lang war).

Als Nächstes bestimmen die Astronomen die Kalenderdaten der Sonnenwenden und Tagundnachtgleichen und fixieren die vier Jahreszeiten an diesen Daten. Caesar verlegt zudem den Jahresanfang vom 1. März, also dem Frühlingsbeginn, auf den 1. Januar – ein Zugeständnis an die Konsuln, die seit Langem an diesem Tag ihr Amt antreten.

Die alten lateinischen Monatsnamen passt er jedoch nicht an deren neue Stellung im Kalender an. Fortan ist der September (lat. *septem* = sieben) der neunte Monat im Kalender. Entsprechendes gilt für Oktober, November, Dezember (von lat. *octo* = acht, *novem* = neun und *decem* = zehn).

Als Korrekturglied fügt Caesar in seinen Kalender die ägyptische Schaltregel ein. Fortan dauert das normale Jahr 365, jedes vierte 366 Tage. Im Schnitt währt es also 365,25 Tage (und ist damit nach heutigem Wissen um elf Minuten und 14 Sekunden zu lang).

Damit der altrömische und der neue Kalender nahtlos aufeinanderfolgen können, muss die Zeitrechnung zunächst an die Jahreszeit angepasst werden: Der altrömische Kalender ist der Wirklichkeit ja um 90 Tage voraus. Er muss also 90 Tage lang mit zusätzlichen Tagen „angehalten“ werden. Erst dann entspricht die Jahreszeit wieder dem offiziellen Datum. Caesar fügt daher zu-

sätzlich zum Schaltmonat im Februar zwischen November und Dezember zwei Monate ein.

So wird das Jahr 46 v. Chr. mit 445 Tagen zum längsten in der Geschichte.

Der Julianische Kalender ist derart genau, dass er nach 128 Jahren nur einen Tag vom Stand der Sonne abweichen wird. Und die neue, für jedermann verständliche und verlässliche Zeitrechnung bewirkt Erstaunliches: Die römischen Gerichte bestimmen nach dem Kalender nunmehr frühzeitig Verhandlungstermine und Prozessfristen. Händler legen lange im Voraus Markttage fest. Schuldner wissen, wann sie ihre Zinsen begleichen müssen. Selbst die Landwirte schätzen die neue Zeitrechnung und meißeln sie sogar in Stein.

Und noch etwas bewirkt der präzise Kalender. Zwar ist den Bürgern Roms schon seit Jahrzehnten die Zeit-

Startpunkt, von dem ab die Jahre gezählt werden. Lange Zeit gelten in vielen Reichen die Dynastien ihrer Herrscher, die Jahre einer Regentschaft, als Bezugspunkte, und damit existieren unzählige parallele Systeme. Zu Caesars Zeit etwa bezogen sich die Römer auf die Entstehung ihrer Hauptstadt, demnach fiel seine Kalenderreform in das Jahr 708 nach Gründung Roms.

Es ist der römische Mönch Dionysius Exiguus, der rund 600 Jahre später (nach heutiger Kenntnis im Jahr 532 n. Chr.) die Geburt Christi als Beginn der Jahreszählung festlegt. „Wir wollten mit unseren Jahresläufen nicht die Erinnerung an einen Unfrommen und Verfolger verbinden“, begründet Exiguus seine Zeitrechnung – denn zuvor hat sich die Jahreszählung an Kaiser Diokletian orientiert, einem Christenhasser.

Obwohl Exiguus die Geburt Jesu wohl um vier bis sieben Jahre zu spät datiert, setzt sich seine Formel „Anno Domini“ („Im Jahre des Herrn“) allmählich durch. Nur die Päpste orientieren sich noch lange an Dynastien und verwenden die christliche Re-

gel offiziell erst ab 1431.

Dafür aber ist es gut 150 Jahre später einer von ihnen, der die letzte große Korrektur des Kalenders anstößt. Am 24. Februar 1582 erlässt Papst Gregor XIII. in Rom die Bulle „Inter gravissimas“: eine Reform des Julianischen Kalenders. Der Papst will damit einen religiösen Streit schlichten, der seit mehr als 1000 Jahren in der Kirche schwelt.

Es geht um die Frage, an welchem Tag die Gläubigen Ostern feiern sollen. „Es war am Rütttag des Passafestes, etwa um die sechste Stunde“, heißt es in der Bibel über den Tag der Kreuzigung.

Dieses jüdische Fest findet stets am ersten Vollmond nach dem Frühlingsanfang statt. Ostern muss folglich am Sonntag nach dem ersten Vollmond im Frühling begangen werden.

Wann aber beginnt der Frühling? Dem Kalender nach am 21. März; denn zur Zeit ihres Heilandes markierte dieses kalendarische Datum den astronomischen Frühlingsanfang: also jenen

Caesars Kalender musste korrigiert werden: Das Jahr dauerte rund elf Minuten zu lang

lichkeit immer bewusster geworden. Und ein Dichter hatte sich sogar beklagt, die allseits präsenten Sonnenuhren würden seinen „Tag in Stücke reißen“.

Doch fortan diktiert der Zeittakt das Leben weitaus gnadenloser: So wird in der Kapitale vorgeschrrieben, wann welche Fahrzeuge die Straßen befahren dürfen und zu welcher Stunde es den Bürgern eines Stadtviertels gestattet ist, Trinkwasser aus den Leitungen zu schöpfen. Zum ersten Mal dürfte in den Menschen ein Gefühl von Hektik und Getriebensein aufgekommen sein.

Die neue Zeitrechnung verbreitet sich zügig im Imperium. Das Christentum dagegen braucht Jahrhunderte, ehe es dem Kalender seinen Fixpunkt gibt. Dann aber wird es damit erfolgreicher als alle Kulturen zuvor.

Denn was noch fehlt, ist ein gemeinsamer Nullpunkt der Zeitrechnung, ein

Porträt

Vom Riesenbagger bis zur Atomuhr

Spezialist für komplexe Themen: der Fotograf Heiner Müller-Elsner

Seit 24 Jahren ist Heiner Müller-Elsner im Auftrag von GEO unterwegs, spezialisiert darauf, wissenschaftliche Zusammenhänge ins Bild zu setzen. Dazu besuchte er nicht nur Institute, sondern praktisch jeden Ort, an dem geforscht wird. Besonders gut in Erinnerung ist ihm seine erste Mission für GEOkompakt, als er für die „Technik“-Ausgabe die größten Nutzfahrzeuge der Erde fotografierte: gigantische Schaufelradbagger, Radlader in einem Salzbergwerk und neun Meter breite Muldenkipper.

Es sei ein Privileg, solche Bilder machen zu dürfen, schwärmt der 53-jährige Hamburger und beschreibt den Grundansatz seiner Arbeit so: „Nur wenn man als Fotograf eine Sache wirklich durchdringt, kann man Bilder machen, die dem Leser das Thema erklären.“



Heiner Müller-Elsner, 53, inszenierte die Atomuhren der PTB Braunschweig

Ein besonders kniffliger Fall war der Auftrag für das vorliegende Heft. Er sollte eine Atomuhr der Physikalisch-Technischen Anstalt in Braunschweig ins Bild setzen. Doch das Licht seiner Blitzgeräte brachte die hochempfindliche Laserstabilisierung des komplizierten Geräts aus dem Tritt – und damit dessen genaue Zeitmessung.

Glücklicherweise hatten die Wissenschaftler diesen Effekt vorausgeahnt und die Uhr zuvor

aus einem Verbund von mehreren Zeitmessern herausgenommen, die für die genaue Taktung zusammenwirken. So konnte sie anschließend wieder synchronisiert werden.

Einen Traum hat Heiner Müller-Elsner: die Erde aus dem All zu sehen und zu fotografieren. „Dafür“, sagt er, „würde ich mein gesamtes Archiv an bisher veröffentlichten Fotos hergeben.“

BILDNACHWEIS/COPYRIGHT-VERMERKE

Anordnung im Layout: l. = links, r. = rechts, o. = oben, m. = Mitte, u. = unten

Titel: Euge/Corbis; Illustration und Montage: Tim Wehrmann

Editorial: Werner Bartsch f. GEOkompakt: 3 o.; Philippe Halsman/Magnum/Agentur Focus: 3 m.; Katrin Trautner f. GEOkompakt: 3 u.

Inhalt: siehe entsprechende Seiten

Der Takt des Seins: Kim Taylor/Nature Picture Library: 6/7; JPL-Caltech/NASA: 8/9; Christian Darkin/SPL/Agentur Focus: 9 o.; CERN/SPL/Agentur Focus: 9 u.; Michael Merten/www.michaelmerten.com: 10 o. + u.; Joe Petersburger/National Geographic Stock: 10/11; Andrew Brookes, National Physical Laboratory/SPL/Agentur Focus: 12/13; Science + Society/Interfoto: 13 o.; Science Museum London, UK/Bridgeman Art Library: 13 u.; Stephen Dalton/Nature Picture Library: 14/15; NBA Players Desmond Mason & TJ Ford, Milwaukee Bucks 2003, Photograph by Howard Schatz c/o Marion Erste-Jasper: 16/17; Tennis Motion Study by Howard Schatz c/o Marion Erste-Jasper: 16; Randall J Hodges/Getty Images: 18/19

Das ewige Rätsel: Jochen Stuhmann f. GEOkompakt: 20-21; NASA: 21

Im Tal des Atoms: Heiner Müller-Elsner f. GEOkompakt: 34-40

Der Rhythmus des Universums: NASA: 42 o. + m.; NASA/NOAA/SPL/Getty Images: 42 u.; Queen's University Belfast/ESA/NASA: 43 o.; JPL/NASA: 43 m.; SPL/Ag Focus: 43 u.

Wenn die Geschichte gefriert: Peter Essick/Aurora/Laif: 44/45; Heidi Roop/National Science Foundation: 46 o. l.; Chris Gilbert/British Antarctic Survey: 46 u. l.; Marc Steinmetz/Visum: 46 o. l.; Brian Cahn/WPA/Ag. Focus: 46 u. c.; Tim Wehrmann f. GEOkompakt: 47 l.; ANDRILL Science Management Office, University of Nebraska-Lincoln: 47 r. o. + u.; Frank Krahmer/Corbis: 48; David L. Brown/Getty Images: 49; William Campbell/Sygma/Corbis: 50 l.; Alamy/Mauritius Images: 50 r.; DK/Getty Images: 51

Die unsichtbaren Zeitmesser der Natur: Magda Indigo/Flickr/Getty Images: 52/53; Piotr Naskrecki/Minden Pictures/Picture Press: 55; Alex Hyde/Nature Picture Library (6): 56/57; Fayed Nuredine/AFP/Getty Images: 58; Ingo Arndt/Minden Pictures/Picture Press: 59; Rita Scaglia/Picturetank/Agentur Focus: 60 l.; Rich Iwasaki/Getty Images: 60 r.

Das Tempo des Lebens: Stephen Dalton/Minden Pictures/Picture Press: 64 l.; Steve Gschmeissner/SPL/Agentur Focus: 64 o. r.; Marc A. Seid/Laboratory of Behavior and Evolutionary Neuroscience/Smithsonian Tropical Research Institute: 64 u. l.

Rainer Harf f. GEOkompakt: 65 o.; Pete Riley - Spooky Nook Creative Ltd./Getty Images: 65 u. l.; Norbert Wu/Getty Images: 65 u. r.

Der Film im Kopf: Dan Winters Photography: 67; Photoshoters/Agentur Focus: 68; Erno Kapitza/Agentur Focus: 69; Enka Berger/Corbis: 70; Graham Corbett/DK Images: 71; Eric McNatt/Contour by Getty Images: 72

Gefahren in der Gegenwart: Jiri Rezac/eyevine: 74-79

Im Netz der Erinnerung: Tim Wehrmann f. GEOkompakt: 80/81; DK Images: 82, 86 u. l., o. c. u. r., 87/89; Eric Tscheine f. GEOkompakt: 84/85; Sodapix/Florline: 38 o. o. m. u.

Der Mensch im Grenzbereich: Mike Powell/Getty Images: 92 l.; Cameron Spencer/Getty Images: 92 m.; Tom Fowlks/Gallery Stock: 92 m. r.; Mike Ehrmann/Getty Images: 92 r.; Valery Hache/AFP/Getty Images: 93 l.; Oleg Filippchuk/Getty Images: 93 m. r.; Laurence Griffiths/Getty Images: 93 r.; Franck Seguin/Corbis: 93 r.

Jenseits der Stundten: George Steinmetz/Agentur Focus: 94/95; Marc Beckmann/Agentur Focus: 96; Ulli Seer/Look-Foto: 97; Penny Tweedie/Panos/Visum: 98/99; Martin Harvey/Corbis: 100; Michael S. Yamashita/Getty Images: 101

Der Uhrmacher und das Meer: Private Collection/Ken Welsh/Bridgeman Berlin: 104 (2), 108; Historics/Ullstein Bild: 104 (4); The Worshipful Company of Clockmakers' Collection/UK/Bridgeman: 104/105 (2); National Maritime Museum, London/Interfoto: 105 u. l., 107, 109, 110, 112; Getty Images: 111; DK Images: 114

Der Pulsschlag der Modelle: Martin Roemers/Laif: 116-126

Aller Laster Anfang?: Lucie and Simon/Picturetank/Agentur Focus: 131

Die Erfindung des Jahres: Ragab Papyus Institute Cairo/Gianni Dagli Orti/The Art Archive: 132/133; Rabatti Do mingei/AKG-Images: 134; AKG-Images: 135; Jochen Stuhmann: 136; British Library/The Art Archive: 137; Mary Evans/Interfoto: 139 (2)

Fotografenporträt: Heiner Müller-Elsner: 141

Ein Puzzle aus 1300 Teilen: Manufaktur Jaeger-LeCoultre: 144-151

Vorschau: Mark Moffett/Minden Pictures/Picture Press: 154 o.; Ralph Gatti/Laif: 154 m.; Zephyr/SPL/Agentur Focus: 154 u.; Raphael Demaret/REA/Laif: 154/155

Für unverlangt eingegangene Manuskripte und Fotos übernehmen

Verlag und Redaktion keine Haftung.

© GEO 2011, Verlag Gruner + Jahr, Hamburg, für sämtliche Beiträge

GEOkompakt

Gruner + Jahr AG & Co KG, Druck- und Verlagshaus, Am Baumwall 11, 20459 Hamburg, Postanschrift der Redaktion: Brieffach 24, 20444 Hamburg, Telefon 040/37 03-0, Telefax 040/37 03 56 47, Telex 21 95 20, Internet: www.GEOkompakt.de

CHEFREDAKTEUR

Michael Schaper

KONZEPT DIESER AUSGABE

Dr. Henning Engel

ART DIRECTOR

Torsten Laaker

TEXTREDAKTION

Jörn Auf dem Kampe, Rainer Harf

BILDREDAKTION

Freie Mitarbeit: Katrin Kaldenberg, Katrin Trautner, Lars Lindemann

VERIFIKATION

Susanne Gilges, Bettina Süssmilch

Freie Mitarbeit: Dr. Eva Danulat, Regina Franke, Tobias Hamelmann, Kirsten Milahn, Dr. Arno Nehls

TEXTE

Freie Mitarbeit: Dr. Ralf Berthold, Friederike Bührel, Ute Eberle, Dirk Liesemer, Annalena Löw, Jan Ludwig, Harald Martenstein, Linus Müller-Elsner, Jochen Pioch, Alexandra Rigos, Laura Rodewoldt, Andreas Schneider, Wolf Schneider, Roland Schulz, Juha von Sengbusch, Jonathan Stock, Julia Völker, Bertram Weiß, Sebastian Witte

ILLUSTRATION

Freie Mitarbeit: Jochen Stuhmann, Eric Tscheine, Tim Wehrmann

FOTOGRAFIE

Freie Mitarbeit: Heiner Müller-Elsner, Jiri Rezac, Martin Roemers

CHEFS VOM DIENST

Dirk Krömer

Rainer Drost (Technik)

SCHLUSSREDAKTION

Ralf Schulte

REDAKTIONSSISTENZ:

Ursula Arens

HONORARE:

Angelika Györfy

Verantwortlich für den redaktionellen Inhalt:

Michael Schaper

HERAUSGEBER:

Peter-Matthias Gaede

VERLAGSLEITUNG:

Dr. Gerd Brüne, Thomas Lindner

GESAMTANZEIGENLEITUNG:

Heiko Hager, G+J Media Sales

VERTRIEBSLEITUNG:

Ulrike Klemmer, Deutscher Pressevertrieb

MARKETING:

Antje Schlünder (Igtg.), Patricia Korrell

HERSTELLUNG:

Oliver Fehling

ANZEIGENABTEILUNG:

Anzeigenverkauf: G+J Media Sales/Direct Sales: Sabine Plath, Tel. 040/37 03 38 89, Fax: 040/37 03 53 02; Anzeigen-

disposition: Anja Mordhorst, Tel. 040/37 03 23 38, Fax: 040/37 03 58 87

Es gilt die GEO-Sonderheife-Anzeigenpreisliste Nr. 7/2011

Der Export der Zeitschrift GEO kompakt und deren Vertrieb im Ausland sind nur mit Genehmigung des Verlages statthaft. GEO kompakt darf nur mit Genehmigung des Verlages in Lesezirkeln geführt werden.

Bankverbindung: Deutsche Bank AG Hamburg, Konto 0322800, BLZ 200 700 00

Heft-Preis: 8,50 Euro (mit DVD: 15,90 Euro)

ISBN 978-3-652-00024-6 (978-3-652-00050-5)

© 2011 Gruner + Jahr Hamburg

ISSN 1614-6913

Litho: 4mat Media, Hamburg

Druck: Mohn Media MohnDruck GmbH, Gütersloh

Printed in Germany

GEO-LESERSERVICE

FRAGEN AN DIE REDAKTION

Tel.: 040/37 03 73 Fax: 040/37 03 56 48, E-Mail: briefe@geo.de

ABONNEMENT- UND EINZELHEFTBESTELLUNG

KUNDENSERVICE UND BESTELLUNGEN

Anschrift: GEO-Kundenservice, 20080 Hamburg

pers. erreichbar:

Mo.-Fr. 7.30 bis 20.00 Uhr

SA. 9.00 bis 14.00 Uhr

E-Mail: geo-service@guj.de

Tel. innerhalb Deutschlands: 01805/861800*

Tel. außerhalb Deutschlands: +49/1805/861800

Telefax: +49/1805/861802

24-Std.-Online-Kundenservice: www.menabo.de/service

Preis Jahresabonnement 31,00 € (D) / 35,80 € (A) / 64,00 CHF (CH)

Preise für weitere Länder auf Anfrage erhältlich

BESTELLADRESSE FÜR

GEO-BÜCHER, GEO-KALENDER, SCHUBER ETC.

KUNDENSERVICE UND BESTELLUNGEN

Anschrift: GEO-Versand-Service, Werner-Haas-Straße 5, 74172 Neckarsulm

Tel.: +49/1805/06 20 00*

Fax: +49/1805/08 20 00*

E-Mail: service@guj.com

*14 Cent/Min. aus dem deutschen Festnetz. Mobilfunkpreis max. 42 Cent/Min.

Tag, an dem die Licht- und die Dunkelphase gleich lang dauern.

Doch seit Christi Geburt ist dieser Frühlingsanfang von Jahr zu Jahr immer mehr vom Datum des 21. März abgewichen – nach Caesars Kalender dauert ja jedes Jahr etwa elf Minuten zu lang. Die überschüssigen Minuten, die aufgrund seiner etwas ungenauen Schaltregel anfallen, haben sich bis 1582 auf zehn

Zudem präzisiert der Papst, beraten von dem Mathematiker Christophorus Clavius, die uralte Schaltregel, damit der Kalender nicht mehr dem Sonnenstand entsteilt. Im Jahr einer Jahrhundertwende, entscheidet er, soll nur dann ein zusätzlicher Tag geschaltet werden, wenn sich die Jahreszahl nicht durch 400 teilen lässt. Nun geht der Kalender jährlich nur noch um 26,006 Sekunden dem Sonnenstand voraus.

Die Reform gilt zunächst nur in großen Teilen Italiens, in Spanien, Polen und Portugal sowie in den jeweiligen Kolonien. Später nehmen weitere katholische Staaten die Reform an. Doch noch jahrhundertelang datieren manche Länder nach dem „Neuen“, andere nach dem „Alten Stil“.

Vor allem protestantische Länder wehren sich gegen den „katholischen“ Kalender. Es heißt, der Papst stehle den Menschen zehn Tage des Lebens. Und die Zugvögel wüssten nicht mehr, wann sie gen Süden ziehen müssen.

Erst vom 1. März 1700 an gilt der Gregorianische Kalender in allen deutschen Ländern.

England folgt 1752, Finnland 1867, Teile Chinas 1912. Die russischen Revolutionäre wechseln 1918 die Zeitrechnung; damit verschieben sich die Gedenkfeiern ihrer Oktoberrevolution auf Anfang November. 1927 führt die Türkei den Gregorianischen Kalender ein, erst 1949 folgt der Rest Chinas.

Seit 1582 sind alle weiteren Reformversuche gescheitert. Die Franzosen hatten 1793 einen streng logischen Revolutionskalender eingeführt: Jeder Tag bestand aus zehn Stunden, jede Stunde aus zehn Einheiten. Immer zehn Tage ergaben eine Dekade, drei Dekaden einen Monat. Um die vermeintlich christlichen Traditionen zu bekämpfen, wur-

den die Tage von 1 bis 10 nummeriert. Die Monatsnamen erinnerten an Weinlese, Nebel, Wind, Schnee, Wiese.

Doch viele revoltierten. Sie weigerten sich, neun Tage zu arbeiten und nur am zehnten zu ruhen. Am 1. Januar 1806 galt wieder der alte Kalender.

In der Sowjetunion scheiterte ein „rollierender“ Kalender nach elf Jahren an den Arbeitern: 1929 hatte der Diktator Josef Stalin die Bevölkerung in fünf Gruppen aufgeteilt, um die Produktion anzukurbeln. Jeden Tag arbeiteten vier Gruppen, während sich die fünfte ausruhte. Trotz weiterer Anpassungen (sechs Tage mit einem festen Ruhetag) blieben zu viele Werktätige am christlichen Sonntag der Arbeit fern.

Offiziell folgt heute nur Saudi-Arabien nicht dem Gregorianischen Kalender: Dort bestimmt der reine Mondkalender des Islam das öffentliche Leben. Die Jahreszählung beginnt mit der Flucht Mohammeds aus Mekka am 16. Juli 622. Nach dem islamischen Kalender berechnen zudem viele muslimische Gemeinden ihre religiösen Feste.

Auch manche christliche Kirchen, etwa die Kopten in Ägypten, richten ihre Feiern nicht nach dem päpstlichen Kalender aus. Sie folgen noch der Julianischen Zeit. So drucken ägyptische Zeitungen für ihre unterschiedlichen Leser heute drei Tagesdaten: das gregorianische, muslimische und julianische. Und die „Jerusalem Post“ sowie die in Berlin erscheinende „Jüdische Allgemeine“ publizieren täglich das gregorianische wie das Datum des jüdischen Kalenders, dessen Zählung 3761 v. Chr. beginnt.

Ein perfekter Kalender hat nie existiert. Selbst der Gregorianische hält weniger präzise Takt als lange angenommen. Die überschüssigen 26 Sekunden pro Jahr, das hatten die Mathematiker einst errechnet, würden sich bis zum Jahr 5084 zu einem Tag addiert haben.

Doch sie irrten sich. Schon im Jahr 4312 wird dieser Tag anfallen.

Denn die Erde rotiert seit jeher stetig langsamer – und damit wird das Sonnenjahr, in Tagen gezählt, allmählich immer kürzer. □

Memo: KALENDER

► **Um die Zeit einzuteilen**, betrachten Menschen seit Jahrtausenden drei Zyklen: den Tag, der von einem zum nächsten Sonnenaufgang währt; den Monat, die Zeit eines Mondzyklus; das Jahr, eine Abfolge von Witterungen.

► **Diese drei Rhythmen** laufen unabhängig voneinander ab. Daraus ergibt sich das Grundproblem eines jeden Kalenders: Der Monat lässt sich nicht als genaues Vielfaches von Tagen, das Jahr nicht als exakte Anzahl von Mondzyklen beschreiben.

► **Ägypter** entwickelten spätestens 3000 v. Chr. einen Kalender, der zwölf Monate zu je 30 Tagen umfasste. Am Ende eines Jahres fügten sie fünf weitere Tage hinzu.

► **Babylonier** entwarfen im 4. Jh. v. Chr. einen 19-Jahres-Turnus aus zwölf Jahren mit je zwölf Mondzyklen und sieben Jahren aus je 13 Mondzyklen.

► **Die Zeiteinteilung**, nach der sich heute die meisten Menschen richten, fußt auf dem Julianischen Kalender, der 46 v. Chr. von Caesar eingeführt und 1582 unter Papst Gregor XIII. verbessert wurde.

► **Doch perfekt** ist auch dieser Kalender nicht: Im Jahr 4312 wird er um einen Tag korrigiert werden müssen.

Tage summiert. Deshalb fällt die Tag- und nachtgleiche nun auf den 11. März.

Das bedeutet: Die Gläubigen sehen den ersten Frühlingsvollmond am Himmel, ohne dass am folgenden Sonntag Ostern gefeiert wird. Denn die Kirche orientiert sich weiter am Kalenderdatum des 21. März.

Gregor entschließt sich daher zu einem kühnen Schritt: Er streicht jene zehn Tage aus dem Kalender, die sich durch das Julianische Regelwerk aufgestaut haben. Auf Donnerstag, den 4. Oktober, folgt Freitag, der 15. Oktober 1582. So liegt der astronomische Frühlingsanfang – wie zu Zeiten Jesu – wieder auf dem kalendarischen 21. März.

GEOkompakt im Vorzugsangebot

Die Lösung: 4 Hefte lesen und 9% sparen!

Sichern Sie sich jetzt ein Jahr GEOkompakt bequem frei Haus.
Dazu erhalten Sie eins von drei attraktiven Geschenken.



Neu!



1. PANTON-Armbanduhr

- sportliche Herrenuhr
- markantes Edelstahlarmband
- Zifferblatt mit Datumsanzeige
- Metallgehäuse: Ø ca. 4,2 cm

2. GEOkompakt-Schuber + Ausgabe „GUT + BÖSE“

- Hartkarton-Schuber für Ihre GEOkompakt-Sammlung
- „Warum wir GUT + BÖSE sind“ – die helle und die dunkle Seite des Menschen

3. Reiserollentasche

- bequemer 2-stufiger Teleskop-Zugriff
- extragroße Leichtlaufrollen
- praktische Innengurte und viele Fächer
- Maße: ca. 55 x 26 x 35 cm

Ja, ich möchte GEOkompakt zum Vorzugspreis:

selbst lesen!

Bestell-Nr. 794 473

verschenken!

Bestell-Nr. 794 474

als Student lesen!

Bestell-Nr. 794 475

Senden Sie mir bzw. dem Beschenkten GEOkompakt ab der nächsterreichbaren Ausgabe zum Vorzugspreis von zzt. nur € 7,75 (D)/€ 8,95 (A)/Fr. 16.– (CH) pro Ausgabe (inkl. MwSt. und Versand) statt € 8,50 (D)/€ 9,80 (A)/Fr. 17,60 (CH) im Einzelkauf. (Studenten zahlen nur € 6,60 (D) pro Ausgabe und legen bitte ihre Immatrikulationsbescheinigung bei). GEOkompakt erscheint zzt. 4 x im Jahr. Mein Geschenk erhält ich nach Zahlungseingang. Nach 1 Jahr kann ich das Abonnement jederzeit beim GEOkompakt-Kunden-Service, 20080 Hamburg, kündigen. Im Voraus bezahlte Beträge erhält ich dann zurück. Dieses Angebot gilt nur, solange der Vorrat reicht.

Meine persönlichen Angaben: (bitte unbedingt ausfüllen)

Name, Vorname

Geburtsdatum

19

Straße, Hausnummer

PLZ Wohnort

Telefonnummer

E-Mail-Adresse

Ja, ich bin damit einverstanden, dass GEO und Gruner + Jahr mich künftig per Telefon oder E-Mail über interessante Angebote informieren.

Ich bezahle bequem per Bank einzug: (jährliche Abbuchung)

Bankkarte

Kontonummer

Geldinstitut

Ich zahle per Rechnung.

Ich verschenke GEOkompakt an:

(bitte nur ausfüllen, wenn Sie GEOkompakt verschenken möchten)

Name, Vorname des Beschenkten

Geburtsdatum

19

Straße, Hausnummer

PLZ Wohnort

Telefonnummer

E-Mail-Adresse

Als Geschenk wähle ich: (bitte nur 1 Kreuz machen)

1. PANTON-Armbanduhr

2. GEOkompakt-Schuber + Ausgabe „GUT + BÖSE“

3. Reiserollentasche

Widerrufsrecht: Die Bestellung kann ich innerhalb der folgenden zwei Wochen ohne Begründung beim GEOkompakt-Kunden-Service, 20080 Hamburg in Textform (z.B. E-Mail oder Brief) widerrufen. Zur Fristwahrung genügt die rechtzeitige Absendung.

X

Unterschrift

Bestellen leicht gemacht:

Per Post:

GEOkompakt-Kunden-Service,
20080 Hamburg

Per Telefon: (Bitte Bestell-Nr. angeben)

01805/861 80 00

14 Cent/Min. aus dem dt. Festnetz, max. 42 Cent/Min. aus dem dt. Mobilfunknetz.

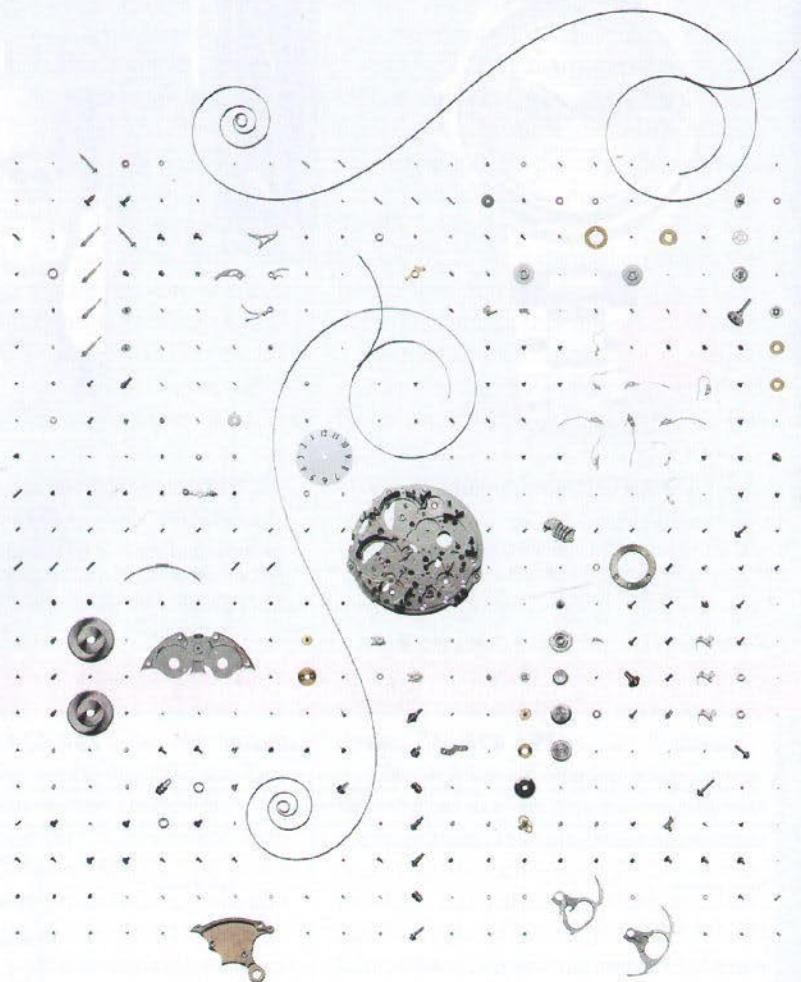
Abonnenten-Service Österreich und Schweiz: +49 1805/861 00 00

Online mit noch mehr Angeboten:

www.geokompakt.de/abo

E i n P u z z l e a u s

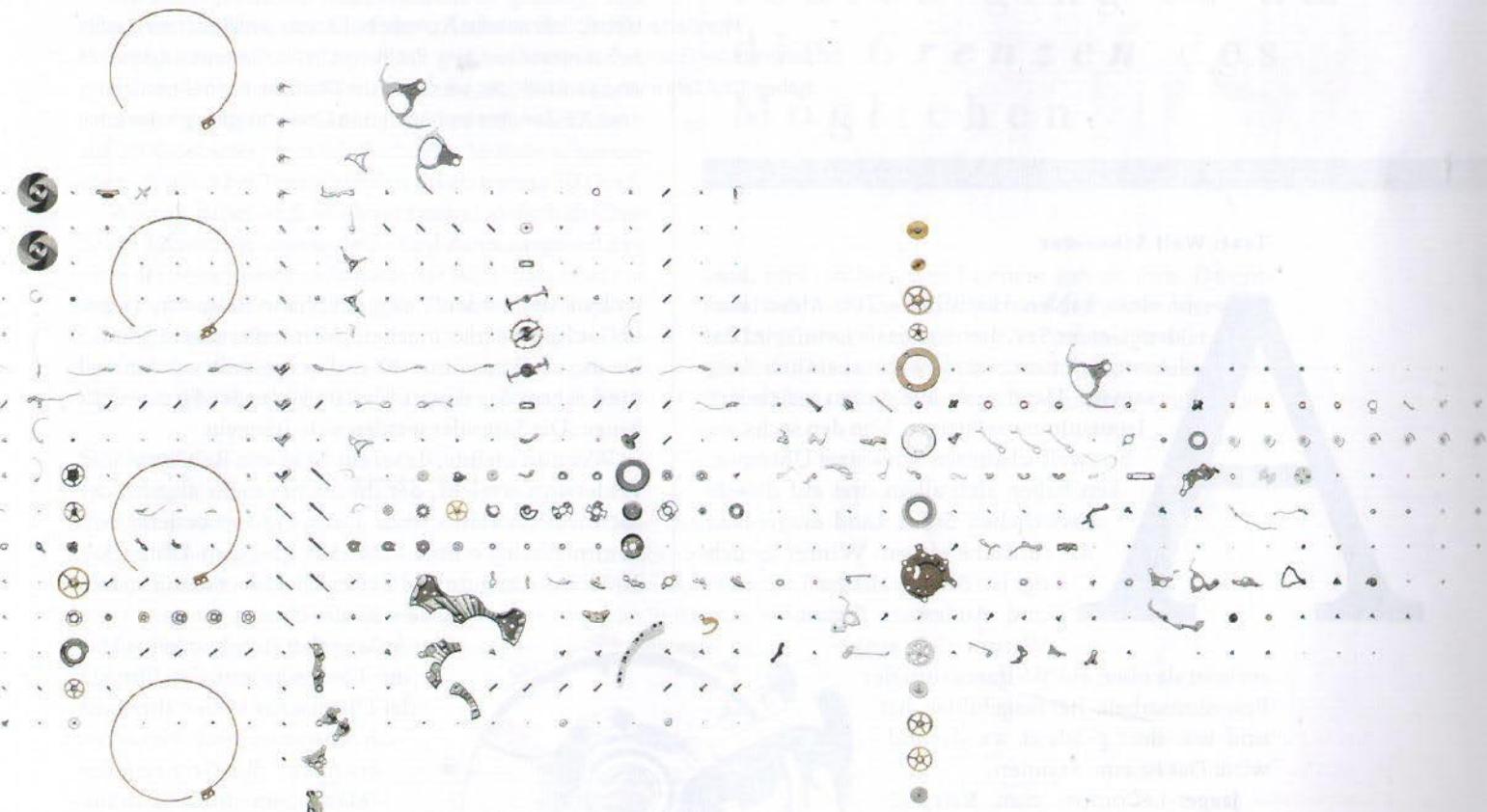
Für die einen ist es das Auskitzeln der Feinmechanik bis an die Grenzen des Mach weniger exakt ticken als eine Quarzuhr, aber wunderschöne Glockentöne von sich

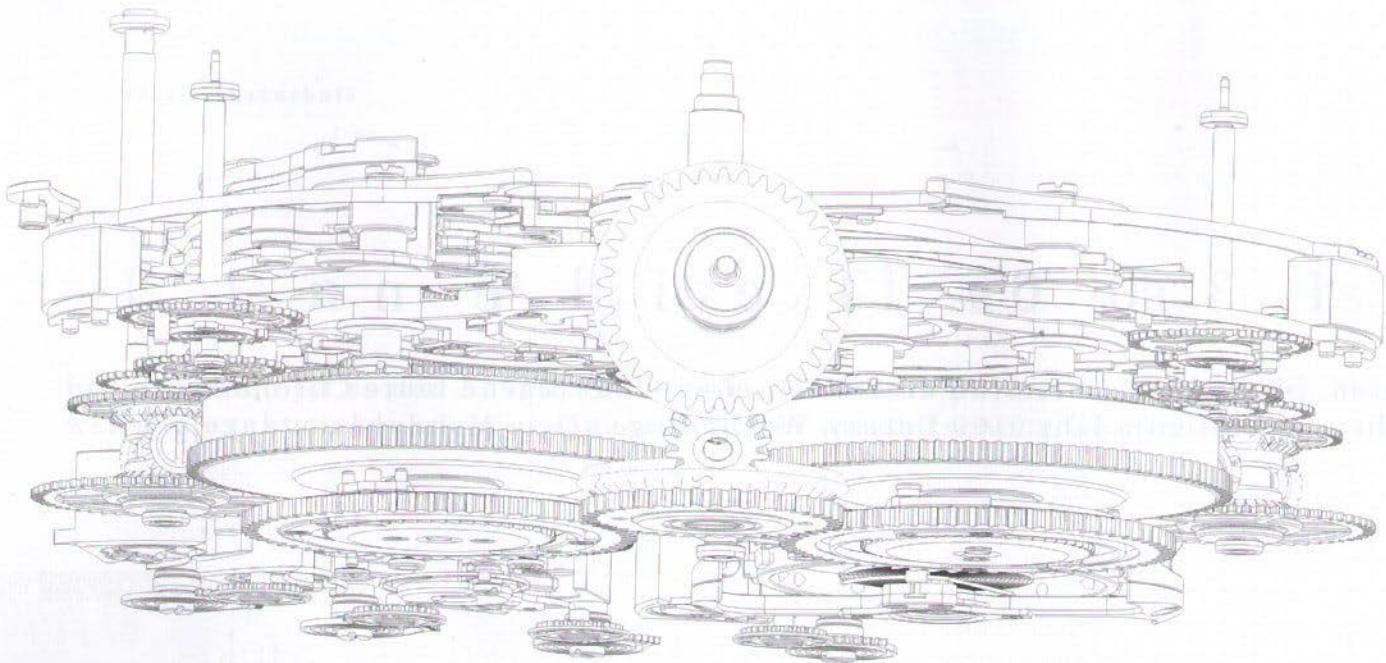


Sechs Monate braucht ein Feinmechaniker der Schweizer Uhrenmanufaktur Jaeger-LeCoultre, um die 1300 Einzelteile der »Hybris Mechanica à Grande Sonnerie« zu montieren. Sie hat 26 Funktionen, gibt etwa den Sonnenauf- und -untergang am Wohnort des Trägers an und gilt als komplizierteste Armbanduhr der Welt

1 3 0 0 T e i l e n

baren, für andere ein Irrsinn an Luxus: schwindelerregend teure Chronometer, die geben und bis zum Jahr 2100 Datum, Wochentage sowie Mondphasen anzeigen





Hunderte Hebel, Schrauben, Trommeln, Federn und Rädchen greifen im Inneren der Grande Sonnerie (hier eine Profilansicht) ineinander. Ingenieure haben fünf Jahre lang getüftelt, bis sie sämtliche Bauteile in einem winzigen, nur 1,5 Zentimeter hohen Gehäuse unterbringen konnten

Text: Wolf Schneider

Auf einer kahlen Hochfläche 700 Meter über dem Genfer See, dem Vallée de Joux, wird das komplizierteste und wahrscheinlich langsamste Handwerk auf Erden zelebriert: Luxusuhren zu fertigen. Von den sechs, sieben weltbekannten Schweizer Uhrenwerken haben sich allein drei auf diesem unwirtlichen Stück Land eingenistet, das für seine eisigen Winter berüchtigt ist: Breguet, Jaeger-LeCoultre und Audemars Piguet.

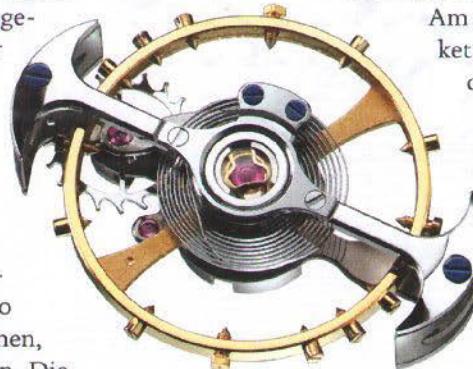
Warum sich ausge-rechnet da oben ein Weltzentrum der Präzisionsarbeit herausgebildet hat und was dort geleistet wurde und wird: Das ist zum Staunen.

Jaeger-LeCoultre zum Beispiel wird Ende 2011 drei der teuersten und raffinieritesten Armbanduhren auf den Markt bringen, die jemals gebaut worden sind. 1,8 Millionen Euro kosten sie zusammen – und nur zusammen, als „Trilogie“, kann man sie erwerben. Die Manufaktur weiß von 300 bis 400 Sammlern, die auf dergleichen erpicht sind und sich das auch leisten können – natürlich nicht, um immer *drei Mal* nachzusehen, wie spät es ist. „Überrascht und verwöhnt

wollen sie werden“, sagt Stéphane Belmont, Jaeger-LeCoultres Marketingchef. „Wir verkaufen Träume.“ Da die „Trilogie“ nur 30-mal hergestellt werden soll (und schon das dauert bis 2014), ist der Firma nicht bange: Die Sammler werden sich drängeln.

Wer nun meinte, da sei ein Grad von Reichtum und Widersinn erreicht, der ihn nichts mehr angeht, der hätte nur zur Hälfte recht. Denn die dort erzielte Vollkommenheit kommt auch den gängigen Uhren (ab 3000 Euro) zugute und das Image, das er damit spazieren trägt, dem Käufer ebenso.

Am Anfang aber stand gar keine Marketing-Idee, sondern der Ehrgeiz der Uhrmacher selber: ihre Lust daran, immer noch Neues zu ersinnen, die Grenzen des Machbaren hinauszuschieben von eigener Hand – also: sich und der Welt zu demonstrieren, bis zu welchem Grad der Verfeinerung sich jenes Handwerk treiben



Das Herz einer mechanischen Armbanduhr ist die »Unruh«: Ring und Spirale aus Metall, die so regelmäßig schwingen, dass sie den Takt der Zeit exakt angeben

lässt, dem sie sich verschrieben haben, manche schon in der dritten Generation.

UND DA SITZEN SIE, die Arbeitsfläche dicht unterm Kinn, die Lupe nur fünf, sechs Zentimeter über den 1300 Teilchen, aus denen das Kunstwerk entstehen soll – die kleinsten 0,2 Millimeter lang und für Ungeübte mit bloßem Auge kaum noch zu erkennen.

Haben diese Weltmeister des Winzigen nicht Angst um ihre Finger, wie viele Virtuosen und Chirurgen? Eigentlich nicht. Höchstens, dass sie zu Hause mit den Händen besser keine Schwerarbeit verrichten. Aber wird nicht das Auge überstrapaziert mit der Lupe an einem Achtstundentag? Nein! Natürlich schaut man hin und wieder aus dem Fenster, und am Feierabend müssen sich die Augen wieder ein bisschen aufs perspektivische Sehen umstellen.

Ein ausgeglichenes Temperament ist günstig, sagt Christian Laurent, der Chef des „Ateliers für Große Komplikationen“. Und Sport tut gut, sie treiben ihn reichlich; jeder hat ein Mountainbike, auf dem Lac de Joux wird gesegelt, für Skilanglauf ist das Hochtal ideal: auf 20 Kilometer ziemlich flach, vier Monate schneesicher – freilich bei Temperaturen bis zu minus 30 Grad.

Warum haben sich in dieser rauen Landschaft überhaupt Menschen angesiedelt – und dann ausgerechnet viele der besten Feinmechaniker der Welt? Das Hochtal war einmal waldreich, günstig für Holzkohle und später für Sägewerke; fischreich in drei Seen; genug Weideland für das Vieh. Im späten 16. Jahrhundert begannen sich dort jene Menschen niederzulassen, denen das Val-

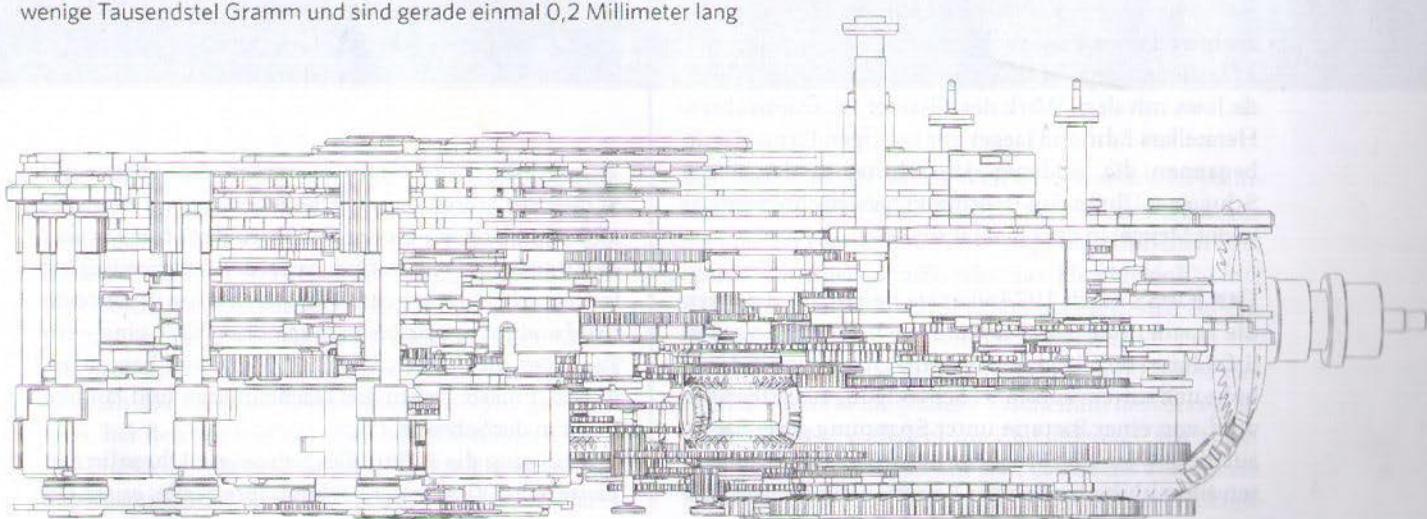
lée de Joux seine heutige Blüte verdankt: Hugenotten, französische Protestanten, die in Frankreich seit 1562 bedrängt und 1685 vollends unterdrückt wurden. Etwa 200 000 von ihnen flohen oder wanderten aus, zumal in die Schweiz, auch nach Deutschland und in andere Länder – fast durchweg überdurchschnittlich gebildet und ausgebildet und meist gern begrüßt.

Die zahlreichen Uhrmacher unter ihnen bildeten in Genf ihre erste Kolonie. Das Vallée de Joux (heute eine Autostunde, damals wohl mehr als zwei Tagesreisen von Genf entfernt) bot sich an als günstiges Siedlungs-

Den Konstrukteuren ging es um die Grenzen des Möglichen

land, und ein bisschen Eisenerz gab es auch. Da entstand bald hier eine Schmiede und da ein Hammerwerk, im 18. Jahrhundert kamen Werkstätten für Metallverarbeitung hinzu, bald mit hochwertigen Produkten wie Zahnrädern, Rasiermessern, Spieluhren – und Uhren

Das mechanische Werk der Grande Sonnerie (hier im Querschnitt) wird von zwei unterschiedlichen Federn angetrieben: Eine ist für die Zeitmessung zuständig, die andere setzt den Schlagwerkmechanismus in Gang. Die winzigsten Komponenten wie einige Hebel oder Stifte wiegen nur wenige Tausendstel Gramm und sind gerade einmal 0,2 Millimeter lang



überhaupt; die aber zunächst in Heimarbeit, ideal für diese barbarischen Winter.

Antoine LeCoultre, Spross einer Familie, die sich als eine der ersten im Vallée angesiedelt hatte, gründete 1833 seine Uhrenwerkstatt. Schon 1844 konstruierte er ein Millionometer, das Werkstücke auf einen Tausendstelmillimeter genau vermessen konnte, damals vermutlich ein Weltrekord; jedenfalls die perfekte Basis für die Uhrmacherei. 1847 erfand LeCoultre den Kronenaufzug für Taschenuhren, statt des Schlüssels, den man bis dahin brauchte; die Zeiger stellen konnte man ebenfalls mit ihm. Auch führte schon dieser Antoine jene „Fertigungstiefe“ ein, deren sich die Manufaktur bis heute rühmt: Die Uhrwerke, die Gehäuse und fast das gesamte Zubehör werden selber hergestellt – eine Ausnahme in der Uhrenindustrie.

Als 1903 Antoines Enkel Jacques-David in die Firma eintrat, mischte sie schon in der Spurte mit. 1907: ein 1,4 Millimeter dünnes Uhrwerk für eine Taschenuhr. 1929 die kleinste mechanische Uhr der Welt, zum Einpassen in ein Schmuckstück vorgesehen: ein Recht-

Es ertönt die längste je in einer Armbanduhr erzeugte Melodie

eck, anderthalb Zentimeter lang, einen halben Zentimeter breit, ein Gramm schwer mit seinen 98 Teilen – bis heute gebaut und nie unterboten. (Nur die Zeit abzulesen ist nicht ganz leicht.)

1937 vereinigte sich die Manufaktur im Vallée de Joux mit dem Werk des Elsässer Präzisionsuhren-Herstellers Edmond Jaeger zur heutigen Firma. Dann begannen die goldenen Jahrzehnte, in denen die Schweizer Uhren den Weltmarkt beherrschten – sogar in der Menge; in der Qualität sowieso.

DIE KRISE brach 1974 über sie herein. Da drängten die Japaner mit der Quarzuhr nach Europa. Aus der Erfindung von 1927 – eine Scheibe Quarzkristall, durch hohe und extrem konstante Schwingung ausgezeichnet, wird von einer Batterie unter Spannung gesetzt und auf die gewünschte Frequenz heruntergeregt – machen sie mithilfe langlebiger Batterien ein billiges Mas-

VIER TONFEDERN aus einer Speziallegierung erzeugen die vier Töne der Grande Sonnerie – und lassen sich zu der vom »Big Ben« in London bekannten Melodie kombinieren. Die Federn laufen, kompliziert um die Mechanik geschlungen, durch das Gehäuse.

WINZIGE HÄMMERCHEN schlagen kurz und präzise gegen eine Tonfeder und erzeugen dadurch den Klang. Dank einer neuartigen Konstruktion werden 80 Prozent ihrer Energie für die Klangbildung verwendet.

ÜBEREINANDERLIEGENDE RECHEN heben die Hämmerchen an und lassen sie auf die Federn niedersausen.

DER »TEUFLISCHE TURM« ist das zentrale Element zur Steuerung der Länge – quasi das Gehirn des Schlagwerks. Auf mehreren Ebenen übereinanderliegende Zahnräder und Mechaniken legen fest, wie die Tonfedern die Signale etwa für Stunden, Viertelstunden oder Minuten erklingen lassen.

UNTER DER METALLBRÜCKE liegen die Federhäuser, die den mechanischen Antrieb für die Uhr liefern, sowie das Räderwerk. Es überträgt die Kraft der Federn unter anderem auf den an seiner linken Seite senkrecht emporragenden Stift, der den Uhrzeiger tragen wird.

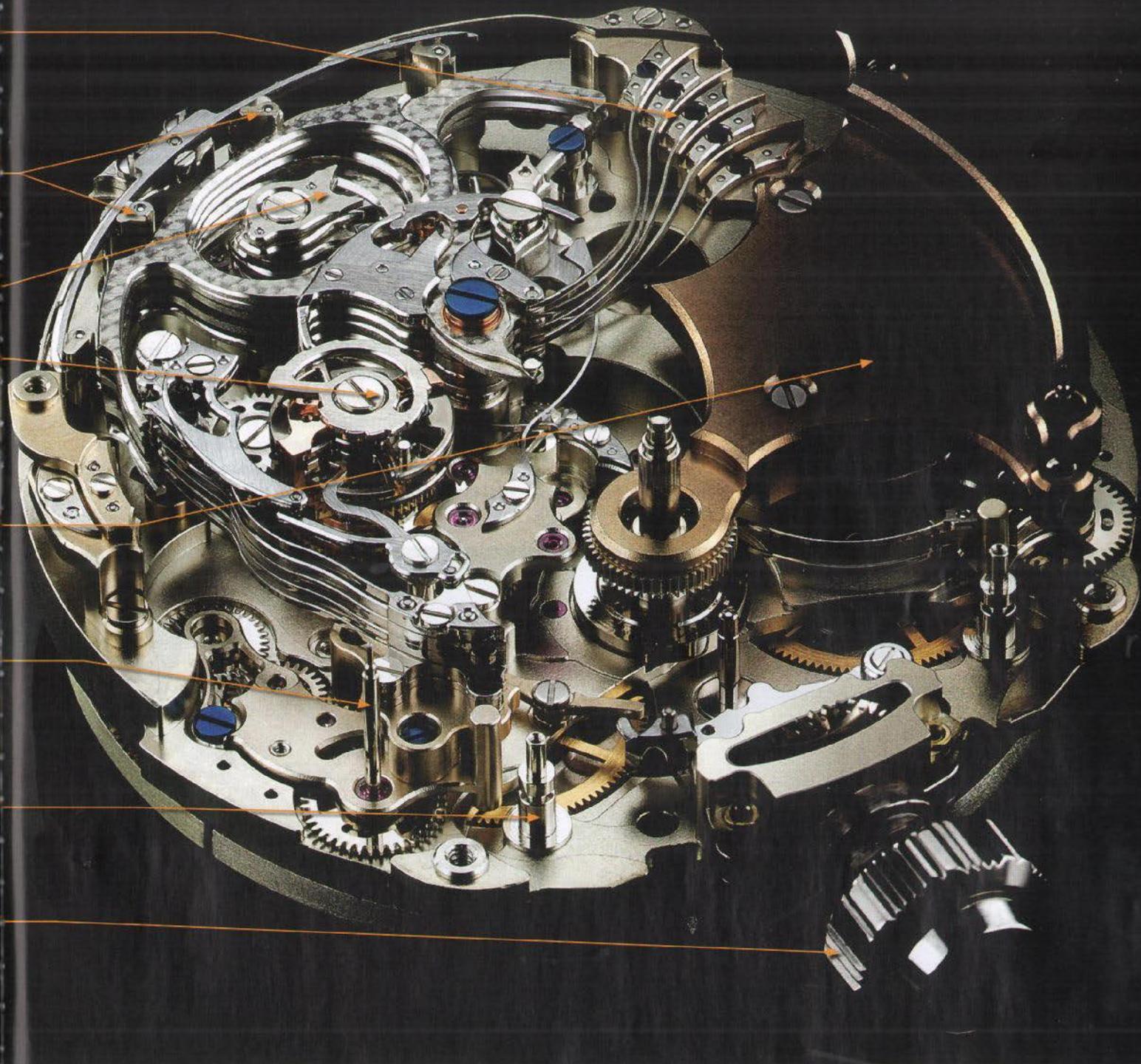
AUF WELCHES GELÄUT die Uhr eingestellt ist, lässt sich an einem Zeiger ablesen, der auf diesem Stift montiert wird. Einstellbar sind: Töne nur zur vollen Stunde, akustische Anzeige von jeder Viertelstunde oder Stummschaltung des Läutwerks.

AUF DIESEM STIFT wird in der zusammengebauten Uhr ein Zeiger sitzen, der – ähnlich wie die Tankanzeige im Auto – signalisiert, wie viel Kraft noch in der Aufziehfeder steckt.

BEIM DRUCK AUF DIESEN KNOPF wird die Uhrzeit hörbar: als Folge von Tönen, die Stunden und Minuten anklingen lassen.

senprodukt. Über Nacht beraubten die Japaner die Schweizer Uhren damit jenes Vorzugs, auf den sich 100 Jahre lang ein großer Teil ihres Renommees und damit auch ihr Preis gestützt hatte: der *Ganggenauigkeit*. In Deutschland war es um 1960 noch normal, dass eine Armbanduhr um ein bis zwei Minuten falsch ging – pro Tag. Wer die Abweichung auf Sekunden begrenzen wollte, musste tief in die Tasche greifen und landete meist in der Schweiz.

Nun ging die Hälfte aller Schweizer Uhrenfirmen pleite, 45 000 Arbeiter verloren ihre Stelle, es schien



vorbei. Bis 1983 der Unternehmer Nicolas Hayek die „Swatch“ auf den Markt warf: vollautomatisch hergestellt, noch billiger als die japanischen Produkte, wie diese mit nur einer Sekunde Abweichung pro Tag – und durch brillantes Marketing zur Kult-Uhr stilisiert.

Dies, meinten damals viele, würde die alten Manufakturen nun vollends ruinieren. Doch das Gegenteil geschah. Da muss viel Psychologie im Spiel gewesen sein; bei den Herstellern und bei den Käufern auch. Die Hersteller hatten das ermutigende Erlebnis, dass Schweizer Uhren, welcher Art auch immer, im Hand-

umdrehen wieder an die Weltspitze vorstoßen konnten; das stachelte ihren Ehrgeiz an, und sie warben für die inneren Werte, „die Seele“ einer mechanischen Uhr, dieses winzigen Kraftwerks am Handgelenk. Und Käufer in aller Welt waren offenbar bereit, sich auf die Rolle der Uhr als Statussymbol zu besinnen.

So hatte es ja angefangen. Wenn anno 1890 der Fabrikdirektor seine goldene Taschenuhr hervorzog, so wollte er zwar vielleicht die Zeit ablesen – vor allem aber Eindruck machen auf alle, die nichts Ähnliches besaßen. Und obwohl Armbanduhren etwas Alltägli-

ches geworden sind und auch die teuren unter ihnen ihren Wert durchaus nicht immer auf den ersten Blick enthalten: Am Handgelenk trägt man den großen Namen und ein kleines Wunderwerk dazu, ein Stück Spitzentechnik, das Sekunde für Sekunde seine Arbeit für den Träger sichtbar leistet. Für Männer ist das eine Art „Fortsetzung der Spielzeugeisenbahn“, sagt der Sportkommentator Marcel Reif, ein Sammler auch er: „Technik, die man fassen und beschauen kann.“

Die Ganggenauigkeit steht dabei gar nicht mehr im Vordergrund. Nicht mal die „Trilogie“ von Jaeger-LeCoultre, die auch den winzigsten Chancen der Mechanik nachspürt, kann es darin mit der Quarzuhr aufnehmen: Nicht eine Sekunde Abweichung pro Tag – zehn Sekunden werden bei ihr toleriert, vier Sekunden nach der ersten Revision, zwei Sekunden bei einem der drei Meisterstücke, der Gyrotourbillon.

Auch Taucheruhren stellt die Firma her, die teuersten für eine Tiefe von 300 Metern ausgelegt, mit Tiefenanzeige, Messung der Herzfrequenz und einem Wecker, der das Auftauchen anmahnt. 60 Modelle hat Jaeger-LeCoultre im Angebot, fünf bis sechs kommen jährlich hinzu, und für alle Uhren, die seit 1860 gebaut worden sind, stehen Ersatzteile zur Verfügung.

2011 ALSO die drei ganz großen: „Hybris Mechanica“ benannt, Übermut der Mechanik! Denn, sagt der Hersteller, „eigentlich“ überschreiten sie die Grenzen des Möglichen. Die eine heißt *Gyrotourbillon*, „Taumeln im Kreis herum“: Die Unruh ist da auf ein Drehgestell aus 112 Teilen montiert, das laufend um drei Achsen schwenkt, um damit nicht nur, wie beim einfachen Tourbillon, die unterschiedliche Schwerkraft im Liegen und im Tragen auszugleichen, sondern auch alle Bewe-



Ende 2011 bringt Jaeger-LeCoultre die Grande Sonnerie (Mitte) heraus. Freilich ist sie nur als »Trilogie« zu erwerben – zusammen mit der »Hybris Mechanica à Triptyque« (l.), die selbst die Tierkreiszeichen anzeigt, und der „H. M. à Gyrotourbillon“, die auf ihrer transparenten Vorderseite unter anderem über einen ewigen Kalender verfügt. Kostenpunkt für alle drei: 1,8 Millionen Euro

Dies trotz des Tausend-Stunden-Tests, dem sie, wie seit 1992 alle anspruchsvollen Jaeger-LeCoultre-Uhren, unterworfen werden: Sechs Wochen lang werden die fertigen Uhren geprüft in Ruhe und Bewegung, in Kälte und

Hitze, mit gezielten Schlägen und dem Wasserdruk von fünf Atmosphären, ehe sie in den Handel gehen.

gungen des Uhrenträgers. Was für eine Chance, wenn man diese Uhr denn trüge! Aber tragen werden die meisten Sammler sie nicht oft.

Die zweite heißt *Hybris mechanica à Triptyque* und ist die Verfeinerung einer Idee von 1931, der „Reverso“: einer Uhr im rechteckigen Wendegehäuse, in dem man die Rückseite nach oben drehen kann – ein Zifferblatt für die Ortszeit, das zweite entweder für eine andere Zeitzone oder für Tierkreiszeichen, Sonnenauf- und -untergang; hier zusätzlich auf der Bodenplatte ein Ewiger Kalender: Wochentage, Datum, Monat, Jahr bis 2100 ohne Eingriff garantiert; die Mondphasen dazu.

Und dann die Krone: die *Grande Sonnerie*, die Uhr mit einem Schlagwerk aus vier Gongs. In englischen Taschenuhren gab es das schon vor drei Jahrhunderten; in solchen Uhren war Platz. Glasklare Töne aber aus einem winzigen Gehäuse zu zaubern, das noch dazu wasserfest sein soll: Das erfordert bei den Machern das Äußerste an Tüftelei, bei den Kaufleuten die Zuversicht, dass sich so etwas auch verkaufen lässt – und bei den Käufern den Stolz, einen Gipfel menschlicher Kunstfertigkeit zu besitzen, wie entbehrlich er auch wäre.

Fünf Jahre lang ist da entwickelt worden, zwei Jahre dauert es vom ersten Handgriff bis zum letzten, sechs Monate allein die Montage, 15 Tage das endgültige Zusammenfügen der 1300 Einzelteile, die allesamt in den Schraubverschluss einer Wasserflasche passen würden. 32 technische Berufe wirken da zusammen: Konstrukteure, Designer, Zeichner, Programmierer, Kalibrierer, Graveure, Stanzer, Emailleure, Polierer, Juweliere, Kontrolleure.

So entsteht das Meisterstück mit seinem Gehäuse aus Weißgold von 18 Karat. Es hat einen Durchmesser von mehr als vier Zentimetern und ist anderthalb Zentimeter dick – beides deutlich mehr, als man von einer Armbanduhr gewöhnt ist, aber durchaus einer Zeitmode entgegenkommend und in Ansehung all der Funktionen eben doch ein Bravourstück der Winzigkeit. Dazu ein Armband aus Alligatorleder für den, der ihn am Handgelenk zu genießen wünscht, diesen Mikrokosmos aus 1300 wundersam eingepassten Rädern, Schrauben, Federn, Hebeln, Trommeln, Stiften, Wellen, Klinken.

Auch bei geöffnetem Deckel ist das schön anzusehen mit seinen weinrot strahlenden synthetischen Rubinen und den leuchtend blauen Schraubenhälsen, die eigens auf 280 Grad erhitzt worden sind, damit sie diese edle Farbe annehmen. Gold wird auch dort verwendet, wohin das Auge des Besitzers niemals dringen kann.

Und mittendrin der „teuflische Turm“ (die Uhrmacher selber haben ihn so getauft, weil er so höllisch schwer zu bauen ist): die Schlagwerksmechanik nämlich für das Glockenspiel. Da tasten oval geformte Rechen die Zeit ab, Hämmerchen schlagen die vier Gongs an, die Tonfedern sind mit dem Uhrenglas als Klangkörper verschmolzen – und so ertönt das Westminster-Geläute, die längste Melodie, die in einer Armbanduhr jemals erzeugt worden ist.

Durch Knopfdruck lässt sich das Schlagwerk auf Töne und Intervalle für Stunden, Viertelstunden und Minuten einstellen. Sogar die komplette Uhrzeit kann man sich mit den drei verschiedenen Klängen läuten lassen – was sicher nützlich war in Zeiten flackernden Kerzenlichts, heute aber zu dem Vergnügen beiträgt, eines der deliziosesten Spielzeuge der Welt zu besitzen.

Seinen Weg muss der Schall sich durchs wasserdichte Gehäuse bahnen, und doch tritt er glockenrein ins Freie. Die Feder für das Schlagwerk muss freilich alle zwölf Stunden aufgezogen werden, verglichen mit 50 Stunden für die Uhrzeit und den Ewigen Kalender – und wie kann man ihm das zumuten, dem glücklichen Besitzer von gleich drei so opulenten Uhren? Wer so fragt, hat den Tiefpunkt der Ahnungslosigkeit erreicht.

Denn den 30 erhofften Käufern in aller Welt bietet Jaeger-LeCoultre natürlich an, sich einen Spezialtresor anzuschaffen: fast mannshoch, breit genug für eine

Zur Verwahrung der wertvollen Uhren gibt es einen Spezialtresor

Flügeltür, mit Känguruleder bespannt, „den neuesten Sicherheitsanforderungen entsprechend“ und für 200 000 Euro zu haben. Darin die drei Meisterwerke in warm ausgeleuchtete Schaukästchen – gelegt? Gehängt? Nein: mitsamt dem Alligatorarmband in gefälliger Schräglage dekoriert.

Und wieso ist das Problem des Aufziehenmüssens damit gelöst? Dadurch, dass zwei elektronisch gesteuerte Module im richtigen Intervall aus den Seitenwänden fahren, die Krone fassen und die Uhr unter ihr drehen. Überdrehen lässt sich da nichts: Selbstverständlich ist in jede der Uhren ein Mechanismus eingebaut, der das Aufziehen, auch von Hand, unterbricht, sobald die Feder ihre volle Spannung erreicht hat.

Und die Töne? Soll dieses herzerwärmende Glockenspiel denn hinter Panzertüren ungehört verhallen? Nicht doch! Selbstverständlich ist in dem Tresor ein Übertragungssystem vom Feinsten installiert, das ohne Mikrofone und Lautsprecher auskommt.

Wenn der stolze Sammler an der kängurulederbespannten Stirnwand seines „Trilogie“-Tresors entlangschlendert und die *Grande Sonnerie* ihm aus der Tiefe des Stahls zärtlich zuläutet, zugongt, zuzirpt, dass es 11.17 Uhr ist – wie sollen wir Quarzuhrenträger da seine Seligkeit begreifen? □

Wolf Schneider. 86, Publizist seit mehr als 60 Jahren, früherer Leiter der Hamburger Journalistenschule und Autor von rund 30 Sachbüchern, ist soeben für sein Lebenswerk mit dem renommierten Henri-Nannen-Preis ausgezeichnet worden.

ZEIT IN ZAHLEN: Von Dauer und Geschwindigkeit

107 208

KM/H beträgt die **DURCHSCHNITTLICHE GESCHWINDIGKEIT**, mit der die Erde um die Sonne kreist. ■

13,7

MILLIARDEN JAHRE ist es her, seit sich der Urknall ereignete. Da mit dem »Big Bang« auch die Zeit selbst ihren Anfang nahm, ist diese Spanne die bislang längste Dauer in unserem Universum. ■

0,3

SEKUNDEN VERGEHEN BEIM ELF METER, bis ein platziert geschossener Fußball die Torlinie überquert. Für einen Torwart ist das zu kurz, um mit einer Reaktionszeit von 0,2 Sekunden noch einen Schuss in die Ecke parieren zu können. Er muss sich vorher entscheiden und auf eine Seite springen. ■

0,00000006

SEKUNDEN GINGEN CÄSium-ATOMUHREN NACH, mit denen Wissenschaftler in östlicher Richtung um die Erde flogen. Der Effekt lässt sich mittels der Relativitätstheorie erklären: Selbst die verhältnismäßig geringe Geschwindigkeit und Höhe der Jets reichte aus, um die Zeit im Flugzeug langsamer vergehen zu lassen. ■

2

10

TAGE DAUERTE **EINE WOCHE** bei den Ägyptern. ■

MILLISEKUNDEN müssen zwischen **ZWEI MIT DEN OHREN WAHRGENOMMENEN REIZEN** liegen, damit wir sie zeitlich unterscheiden können. Bei optischen Eindrücken bedarf es einer Zeitspanne von mindestens 20 Millisekunden. ■

16

SEKUNDEN DAUERT DER SEX, die geschlechtliche Vereinigung zweier Moskitos. ■

5

TAGE HATTE **Die WOCHE** bei den Azteken. ■

10⁻⁴³

SEKUNDEN ist die theoretisch kleinstmögliche Zeiteinheit, auch bekannt als **PLANCK-ZEIT**. Unterhalb dieser Grenze, so vermuten Physiker, verlieren die naturwissenschaftlichen Gesetze ihre Gültigkeit. ■

Was Zeit ist, vermögen Wissenschaftler bis heute nicht genau zu erklären. Doch eines können sie höchst präzise: das Phänomen messen und in Zahlen fassen

4,47

MILLIARDEN JAHRE BETRÄGT DIE HALBWERTSZEIT

VON URAN-238. Das radioaktive Element half Forschern, das Alter der Erde zu bestimmen. ■

5

MINUTEN KÜRZER ALS DAS ORIGINAL ist ein Zwei-Stunden-Kinofilm, wenn er auf DVD erscheint. Nicht etwa weil er geschnitten wird – sondern weil Kinofilme mit 24 und TV-Produktionen mit 25 Bildern je Sekunde aufgenommen werden. Im Fernsehgerät laufen die Kinofilme demnach schneller ab als auf der Leinwand; und mehr Bilder pro Sekunde verkürzen die Filmlaufzeit. ■

240

MILLIONEN JAHRE BENÖTIGT
UNSER SONNENSYSTEM, um einmal den Mittelpunkt der Milchstraße zu umrunden – so lange dauert also ein galaktisches Jahr. ■

1079 252 848,8

= 299 792,5 **KM/S LEGT DAS LICHT IM VAKUUM** zurück. Es ist die höchste mögliche Geschwindigkeit. ■

39 897

KM/H IST DIE HÖCHSTE GESCHWINDIGKEIT, die je Menschen erreichten. So schnell flogen die US-Astronauten Tom Stafford, John Young und Eugene Cernan in der Raumkapsel von Apollo 10 zur Erde. ■

117

TAGE dauert es auf der Venus **VON EINEM SONNENAUFGANG ZUM NÄCHSTEN**, bis also ein Venustag vergangen ist. Für eine Umrundung der Sonne braucht der Planet 225 Erdtage. Ein Venusjahr besteht demnach aus nicht einmal zwei Venustagen. ■

0,002

KM/H beträgt die **MAXIMALE GESCHWINDIGKEIT** **EINES SPERMIUMS**. ■

Intelligenz, Begabung, Kreativität

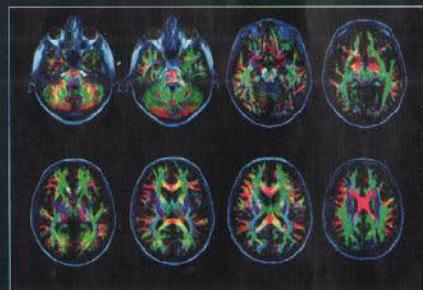
Wie wir uns Wissen aneignen und unseren Verstand fördern, wie wir unsere Talente erkennen und unsere Fähigkeiten ausschöpfen



GEMEINSAM können selbst Ameisen mit winzigen Hirnen komplexe Aufgaben meistern – so den Bau eines Blätternestes



DIE WURZELN der Kreativität: Forscher untersuchen, was Genies wie Picasso von anderen Menschen unterscheidet

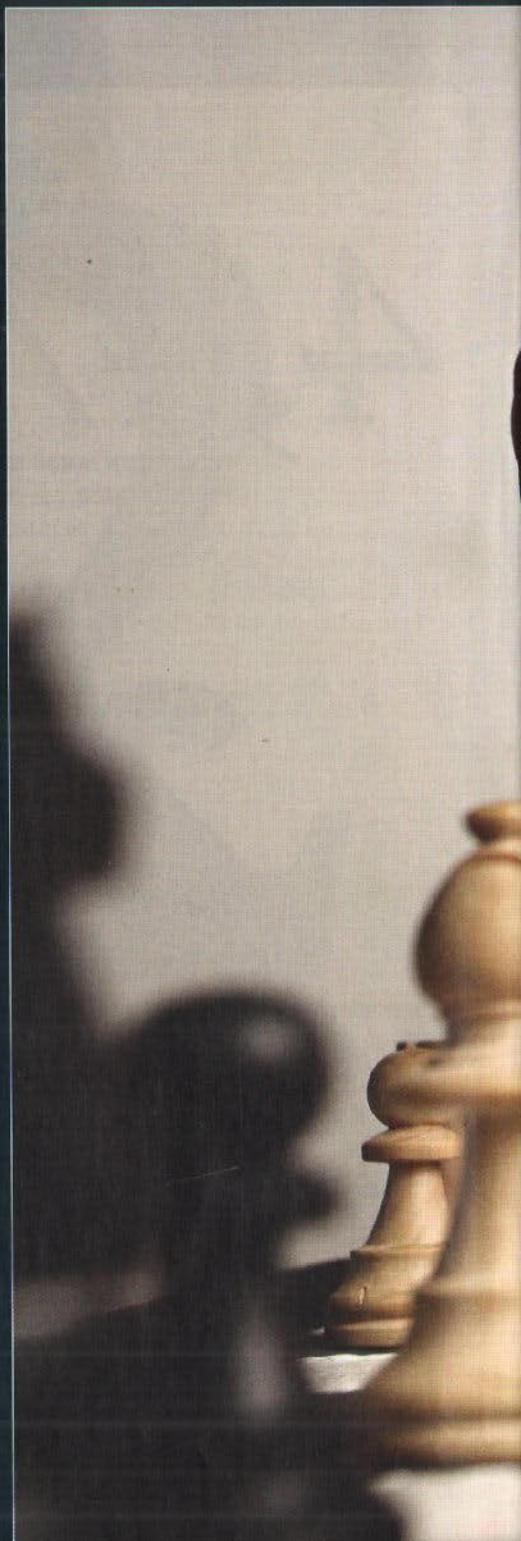


DIE VERBORGENE Seite der Vernunft: Wie bestimmte Nervenfasern (farbige Zonen) unsere Intelligenz beeinflussen

Der Erfolg des *Homo sapiens* beruht maßgeblich auf zwei Eigenschaften, mit denen er jedes andere Geschöpf übertrifft: Intelligenz und Kreativität. Als unsere Ahnen vor 2,5 Millionen Jahren immer größere Gehirne entwickelten und die Gesetze der Natur immer tiefer durchdrangen, begannen sie, ihre Umgebung gezielt zu gestalten. Sie erhoben sich gleichsam über die Unwagbarkeiten der Welt. Und nahmen ihre Evolution selbst in die Hand.

Dieser unbändige Schöpfer- und Erkenntnisdrang bestimmt die menschliche Zivilisation bis heute. Und doch geben Scharfsinn und Schaffenskraft Wissenschaftlern Rätsel auf. Psychologen und Soziologen, Computerspezialisten und Hirnforscher fragen sich, weshalb Menschen überhaupt unterschiedliche Talente haben. Warum der eine besonders sprachbegabt ist, ein anderer selbst komplizierteste Rechenaufgaben mühelos zu lösen vermag. Und welche Merkmale jemand besitzen muss, um zum Genie zu werden.

GEOkompakt erklärt, wie Gene und Hormone unser Denkvermögen steuern. Auf welche Weise sich kognitive und kreative Fähigkeiten frühzeitig erkennen und fördern lassen. Und mit welch raffinierten Methoden Informatiker versuchen, den menschlichen Geist zu simulieren, um damit womöglich eine zweite, künstliche Evolution anzustoßen. Das Geheimnis von Verstand und Schaffenskraft: in der nächsten Ausgabe von GEOkompakt.



MIT JEDEM LEBENSAJHAR nimmt der Verstand eines Heranwachsenden zu. Welche Rolle spielt das Erbgut, welche die Erziehung bei der Ausbildung der Intelligenz?



Weitere **THEMEN**

- **IQ-Tests:** Mit welchen Methoden Forscher den Verstand vermessen
- **Entwicklungsgeschichte:** Weshalb *Homo sapiens* einst die Kunst entdeckte
- **Emotionale Intelligenz:** Warum wir uns in andere hineinversetzen können
- **Savants:** Die sonderbare Welt der Inselbegabten

AP
AUDEMARS PIGUET
Le maître de l'horlogerie depuis 1875

ROYAL OAK OFFSHORE DIVER



UHR MIT TIEFGANG

Die Royal Oak Offshore Diver wurde für den Einsatz in großen Tauchtiefen konzipiert und entwickelt. Sie verfügt über einen unter Glas geschützten, drehbaren Zifferblattring mit Tauchzeitskala und erfüllt die anspruchsvollen Taucheruhren-Normen der Schweizer Uhrenindustrie. Wasserdicht bis 300 Meter. Edelstahlgehäuse. Manufaktur-Automatikwerk Kaliber 3120, fein dekoriert; Aufzugsrotor mit dem AP-Monogramm und den Wappen der Familien Audemars und Piguet graviert.

Audemars Piguet Deutschland GmbH • Bahnhofstrasse 44/46 • D-65185 Wiesbaden • Tel. +49 / (0) 611 / 34 17 50

www.audemarspiguet.com

Gerne senden wir Ihnen kostenlos ausführliche Produktinformationen.