

Regeln im Chaos

Warum sich manche Phänomene so schwer vorhersagen lassen

Es ist eine ungewöhnliche Allianz: Mathematiker, Physiker, Meteorologen, Biologen, Ökonomen und Mediziner haben sich in Bonn zum Interdisziplinären Zentrum für komplexe Systeme (IZKS) zusammengeschlossen. Ihre Forschungsobjekte bewegen sich am Rande des Chaos.

Jörg Kachelmann hat einen weiten Weg hinter sich: Seit Jahren weilt der umtriebige Schweizer im Wochenrhythmus medienwirksam neue Wetter-Messstationen ein – von der Nordseeinsel Sylt bis zur Mindelheimer Hütte in den Allgäuer Alpen, von Deutschlands westlichster Gemeinde Selfkant bis zur östlichsten Stadt Görlitz. Mehr als 450 Stationen betreibt Kachelmanns Firma Meteor-media bereits in Deutschland. All das, damit in Zukunft auf die Wettervorhersage ein paar Tage länger Verlass ist.

Jörg Kachelmann hat noch einen weiten Weg vor sich: Momentan beträgt die Maschenweite seines Messnetzes in Deutschland knappe 30 Kilometer. Für eine perfekte Wettervorhersage reicht das nicht ganz. „Dafür bräuchte man jeden

Millimeter eine Station“, erklärt der Bonner Meteorologe Professor Dr. Andreas Hense. Und zwar nicht nur am Boden, sondern auch in der Luft. Auf Bergen, an den Polen, über dem Meer. Weltweit. Hense lächelt ironisch. „Das ist natürlich völlig unmöglich.“

Der Möwenflügel-Effekt

Für eine gute Wettervorhersage muss man den aktuellen Zustand der Atmosphäre möglichst genau kennen. Wenn man die Computerprogramme mit minimal unterschiedlichen Anfangswerten füttert, driften ihre Ergebnisse binnen kurzer Zeit extrem auseinander: Wetter verhält sich chaotisch. „Hier kann man das sehr schön nachvollziehen“, sagt Hense. Mit ein paar Mausklicks navigiert er durch das Internet-Angebot von WetterOnline zu den so genannten Ensemble-Vorhersagen (<http://profi.wetteronline.de/daten/profi/de/ensdia/ensdia.html>). „Hier hat man immer wieder dieselbe Prognose durchgerechnet und dabei nur die Anfangsbedingungen ein wenig variiert. Sehen Sie – das Ergebnis ähnelt fast einer Rauchfahne, die immer weiter verweht.“

Wettervorhersagen gelten aus Prinzip nicht für die Ewigkeit. Selbst wenn man jeden Millimeter in der Atmosphäre ein paar Dutzend Parameter erheben könnte, würde die Messungenauigkeit den Zeitraum für eine verlässliche Prognose begrenzen. Das hat schon vor fast 50 Jahren der Meteorologe Edward Lorenz festgestellt. Er hatte ein einfaches Wettermodell mit gerundeten Werten aus einer früheren Berechnung gefüttert. Dabei beobachtete er, dass die winzigen Änderungen zu völlig anderen Ergebnissen führten. „Das ist der viel beschworene Schmetterlingseffekt“, erklärt Hense. „Obwohl Lorenz diesen Begriff anfangs gar nicht verwendet hat.“ Er blättert in dem vergilbten Artikel, der vor ihm liegt. „One flap of a seagull's wing would forever change the future of the weather“, zitiert er den amerikanischen Forscher. „Sehen Sie, eigentlich müsste es Möwenflügel-Effekt heißen.“

Lorenz beschrieb in seinem Artikel „Deterministic Nonperiodic Flow“ erstmals, was chaotische Effekte für die Vorhersage des Wetters bedeuten. Doch was ist Chaos überhaupt? Wenn sich auf Henses Schreibtisch die Papiere stapeln, hat

▼ Eine perfekte Wettervorhersage ist aus Prinzip unmöglich. Professor Hense und seine Kollegen können nur versuchen, das Chaos möglichst lange in die Schranken zu verweisen.



das mit Chaos im mathematischen Sinne nichts zu tun. Denn Unordnung beschreibt den Zustand eines Systems, Chaos seine Veränderung. Anders gesagt: Unordnung zeigt sich in einem Standbild, Chaos erst im ganzen Film – nämlich dann, wenn kleinste Differenzen in den Anfangsbedingungen nach einer gewissen Zeit ein völlig anderes Verhalten zur Folge haben.

Im Gegensatz zum Zufall gehorcht Chaos Regeln – es ist „deterministisch“, sagen Mathematiker: Jedes Bild des Filmes hat Auswirkungen auf seinen Nachfolger. Darauf basiert auch die Wettervorhersage: Die Wetter-Software wird mit aktuellen Luftdrücken, Temperaturen, Feuchtigkeiten, Windrichtungen gefüttert. Daraus berechnet sie im Minutentakt, wie sich diese Werte gegenseitig beeinflussen, und nimmt die neuen Zahlen als Ausgangspunkt für die nächste Prognose. Schnelle Rechner, ein möglichst feinmaschiges Beobachtungsnetz und gute Modelle sind für die Qualität der Prognose immens wichtig. Heute können Meteorologen das Chaos für ein bis zwei Wochen in die Schranken verweisen. „Spätestens dann summieren sich die Fehler in den Startbedingungen sowie den Modellen so sehr, dass man von einer Vorhersage nicht mehr sprechen kann“, erklärt Hense.

Zufallsprozesse sind dagegen gar nicht vorhersagbar. Beim Würfelspiel hat selbst der ausgebuffteste Zocker gegenüber einem Neuling keine Vorteile: Beide wissen nicht, ob als nächstes die Sechs fällt. Möglich sind allenfalls statistische Aussagen: Die Wahrscheinlichkeit für jede Augenzahl beträgt ein Sechstel; bei 1.000 Würfeln wird im Schnitt knapp 170 mal eine Sechs dabei sein.

Medienhype und Ernüchterung

In den 80er Jahren begann um die Chaosforschung ein wahrer Hype. Damals gingen bizarre Bilder durch die Medien, die mit ihren psychedelischen Farbverläufen einer Drogenfantasie zu entstammen schienen. Es handelte es sich so genannte „Fraktale“ – geometrische Muster, die man zerlegen kann, so dass ihre Einzelteile stark dem ursprünglichen Bild äh-

neln. Fraktale Formen gibt es auch in der Natur: Ein einzelner Ast verzweigt sich ähnlich wie die gesamte Baumkrone. Hinter den ästhetischen Grafiken stecken dagegen meist Gleichungen, die sich in bestimmten Zahlenbereichen chaotisch verhalten.

Etwa zur selben Zeit veröffentlichte der amerikanische Wissenschaftsjournalist James Gleick sein Buch „Chaos: Making a new Science.“ Gleick schrieb, dass chaotische Phänomene zu unserem Alltag gehören – vom unregelmäßig tropfenden Wasserhahn über Herzrhythmusstörungen bis hin zum Auf und Ab der Aktienkurse. Medienberichte schürten den Eindruck, dank der Chaosforschung werde man diese Alltagsphänomene besser und genauer vorhersagen können – Börsencrash adé. Doch gerade zur Kaufberatung am Wertpapiermarkt taugt die Chaostheorie wenig. „Eigentlich ist die Börse für die Theorie zu kompliziert“, erklärt der Bonner Mathematiker Professor Dr. Sergio Albeverio. „Es gibt einfach zu viele psychologische und politische Faktoren, die eine Auswirkung auf die Kurse haben.“ Zudem ist es kaum möglich, diese Einflüsse in Formeln zu fassen. Anders beim Wetter: Die Geschehnisse in der Atmosphäre lassen sich im Prinzip auf Gleichungen reduzieren, die seit dem frühen 19. Jahrhundert bekannt sind.

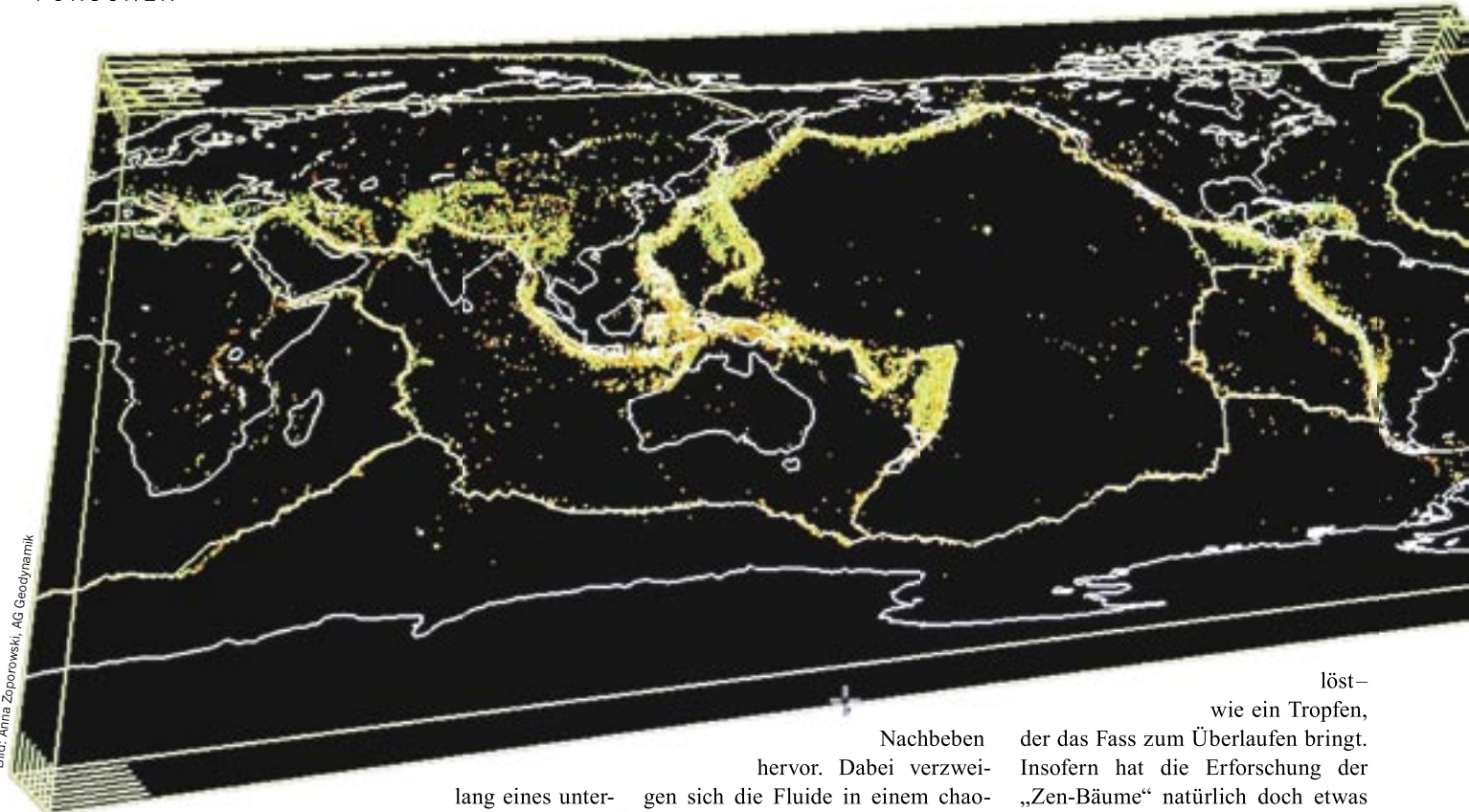
Der französische Mathematiker Benoît Mandelbrot war einer der ersten, der die Turbulenzen auf den Finanzmärkten mit Hilfe der Chaostheorie analysiert hat. In seinem aktuellen Buch „Fraktale und Finanzen“ erklärt er damit zum Beispiel, warum es so riskant ist, sein Geld an der Börse anzulegen – riskanter, als es bei einem rein zufallsgetriebenen Kursverlauf der Fall wäre. Daran ändert auch die Chaosforschung nichts – trotz der Hoffnungen, die so mancher in sie setzte.

Nach dem Beben ist vor dem Beben

„Prognosen? Davon sind wir weit entfernt.“ Stephen Millers Gesicht zerknittert in viele Lachfältchen, als würde ihn das rein gar nicht stören. „Vielleicht sind Erdbeben überhaupt nicht vorhersagbar. Uns geht es zunächst einmal darum, ihre Physik besser zu verstehen.“ Dazu studiert der Inhaber des Lehrstuhls für Geodynamik die Verteilung der vielen tausend Nachbeben, die in den Wochen und Monaten nach einem großen Erdstoß auftreten. „Kommen Sie, ich zeige Ihnen etwas.“

Im Nachbarraum werfen zwei Beamer den Umriss Südamerikas an die Wand. Professor Miller setzt die schwarze 3D-Brille auf. Die Doppelkonturen verschmelzen zu einem plastischen Gesamtbild. An der Westküste des Kontinents ist ein Teppich von tausenden gelben und orangefarbenen Punkten zu sehen, der sich ent-

▲ Am „Apfelmännchen“ lässt sich das Prinzip der Selbstähnlichkeit besonders schön nachvollziehen.



▲ Auf der so genannten „Geowall“ können die Geodynamiker den Entstehungsherd aller größeren Erdbeben der letzten zehn Jahre dreidimensional darstellen.

lang eines unterirdischen Abhangs tief in das Erdinnere zu erstrecken scheint. „Auf dieser dreidimensionalen Karte sind alle größeren Erdstöße des letzten Jahrzehnts verzeichnet“, erklärt Miller. „Jeder der Punkte markiert den Herd des Bebens – wir wissen also auf wenige Kilometer genau, wo in der Kruste es seinen Anfang genommen hat.“ Miller fertigt ähnliche Bilder für Nachbeben an. Daraus erzeugt er Filme, auf denen die Stöße in der Reihenfolge ihrer Entstehung aufblitzen. „Wenn wir das machen, stellen wir fest, dass sich die Nachbeben in komplex verzweigten Strukturen in der Erdkruste auszubreiten scheinen.“ Er wirft ein verästeltes Symbol auf das Papier, das entfernt an ein japanisches Schriftzeichen erinnert. „Ungefähr so. Ich nenne diese Figuren Zen-Bäume.“

Sollte diese Hypothese stimmen, entstehen Nachbeben nicht zufällig irgendwo in der Erdkruste, sondern hängen in fraktalen Mustern zusammen. Der Geophysiker vermutet, dass es Fluide (also Gase oder flüssige Substanzen) aus dem Erdinneren sind, die diesen Prozess antreiben: Sie sammeln sich in zehn oder zwanzig Kilometern Tiefe unterhalb der Erdoberfläche. Bei einem Beben bekommt diese Reservoirkammer einen Riss; die Fluide strömen unter starkem Druck aus und rufen auf dem Weg zur Oberfläche viele kleine

Nachbeben hervor. Dabei verzweigen sich die Fluide in einem chaotischen Prozess. Um diese Ausbreitung zu studieren, ist Miller ähnlich wie sein Kollege aus der Meteorologie auf genaue Daten angewiesen. „Wir arbeiten mit ähnlichen mathematischen Konzepten zur Beschreibung der physikalischen Vorgänge wie Professor Hense.“ Momentan treiben Kollegen des Geoforschungszentrums Potsdam in der Türkei nahe Istanbul Messsonden in die Erde. Die Forscher wollen so möglichst viele Nachbeben präzise lokalisieren.

Bislang haben sich Geophysiker hauptsächlich auf die Untersuchung „großer“ Beben konzentriert. Nachbeben sind aus zweierlei Gründen interessant: Einerseits lässt sich an ihnen studieren, welchen Weg Spannungen in der Erdkruste nehmen. Andererseits können sie auch selbst wieder zur Keimzelle eines großen Bebens werden. „Durch den Kontinentaldrift verkanten die Platten gegeneinander: Ihre Kontaktfläche gerät unter Spannung“, erklärt Miller. „Ein großes Beben entsteht, wenn sich die Spannung über Hunderte von Kilometern entlang der Kontaktfläche löst und die Plattenkanten schlagartig gegeneinander verrutschen.“

Ein Nachbeben an einer kritischen Stelle kann genau das Bisschen zusätzliche Spannung ins System bringen, das ein Jahrhundertbeben aus-

löst – wie ein Tropfen, der das Fass zum Überlaufen bringt. Insofern hat die Erforschung der „Zen-Bäume“ natürlich doch etwas mit der Prognose von Erdstößen zu tun – auch wenn der gebürtige Amerikaner keine allzu großen Hoffnungen wecken möchte.

Ein Physiker in der Hirnforschung

„Die Chaosforschung hat viel versprochen und wenig gehalten.“ Dr. Klaus Lehnertz sitzt in seinem kleinen Büro auf dem Bonner Venusberg; aus seiner Stimme klingt leiser Spott. „Wenn Sie Ihrem Artikel etwas Gutes tun wollen, schreiben Sie nicht von Chaos, sondern von nichtlinearen dynamischen Systemen.“

Dynamisch deshalb, weil sich die Systeme verändern. Nichtlinear, weil ihre Dynamik durch so genannte „nichtlineare“ Gleichungen beschrieben wird. Vereinfacht ausgedrückt, gehorchen lineare Systeme dem Prinzip „kleine Ursache, kleine Wirkung“. Nichtlineare dynamische Systeme neigen dagegen zu chaotischem Verhalten – es gilt „kleine Ursachen können große Wirkung haben“. Das Wetter zählt dazu; die Bewegung des Erdmantels ebenfalls. Und wohl auch das Gehirn. Was einer der Gründe ist, warum der habilitierte Physiker Lehnertz in der Hirnforschung arbeitet: Im scheinbar zufälligen Auf und Ab von EEG-Kurven sucht er nach einem Muster – dem Schlüssel zur Vorhersage epileptischer Anfälle.



Schon Julius Caesar litt unter dem rätselhaften Krampfleiden. Nach Schätzungen sind rund 600.000 Bundesbürger betroffen. Bei einigen von ihnen folgen die Anfälle einer festen Rhythmik. Andere sind monatelang beschwerdefrei, um dann am selben Tag gleich zweimal wie aus heiterem Himmel zusammenzubrechen. „Diese auf den ersten Blick regellosen Epilepsien sind es, die uns interessieren“,

erklärt der Direktor der Klinik für Epileptologie Professor Dr. Christian Elger. „Unsere Vision ist ein Computersystem, das permanent die Hirnpotentialschwankungen des Betroffenen auswertet und ihn rechtzeitig vor einem Anfall warnt. Er könnte dann beispielsweise ein hoch wirksames Medikament nehmen, das den Anfall verhindert.“

Elger glaubt nicht, dass diese Vision noch zu seinen Lebzeiten Wirklichkeit wird. Zu wenig weiß die Forschung bis heute über die Arbeitsweise des Gehirns. Unter der Schädelkalotte sitzen rund 100 Milliarden Nervenzellen, die jeweils mit 1.000 bis 10.000 Nachbarn kommunizieren. Was dabei auf Zellebene abläuft, ist inzwischen bekannt. „Doch schon bei so grundlegenden Funktionen wie der Gedächtnisablage müssen wir passen.“

Klaus Lehnertz kann dem nur beipflichten. „Wir wissen noch nicht einmal genau, was wir bei einem EEG messen“, sagt er. Anders als Wetterforscher Andreas Hense setzt der Physiker daher auch nicht auf Vorhersagemodelle – was man nicht gut genug versteht, lässt sich auch nicht einigermaßen treffsicher modellieren. Was Lehnertz und seine Kollegen suchen, ist eine Art „epileptologische Bauernregel“: Aus zahllosen EEG-Kurven wollen sie die Merkmale destillieren, die auf einen nahenden Anfall hindeuten.

Weltweit fahnden die Epileptologen nach derartigen Anzeichen. Noch vor wenigen Jahren waren ihre

Bauernregeln dabei von der Qualität „Kräht der Hahn auf dem Mist, ändert sich das Wetter, oder es bleibt, wie es ist.“ Inzwischen können sie aber beachtliche Erfolge vorweisen. So bei der genauen Ortung des defekten Hirnareals: Bei vielen Patienten entspringen die Anfälle immer derselben Stelle. Oft kann man die Betroffenen heilen, indem man diesen Herd chirurgisch entfernt. „Wir können heute allein anhand der Hirnströme eines Patienten sagen, wo der Defekt sitzt“, sagt Lehnertz. Dazu müssen die Forscher nicht einmal auf einen Anfall warten – EEG-Kurven aus der beschwerdefreien Phase reichen aus.

Auch bei der Prognose machen die Wissenschaftler Fortschritte. Ein heiß gehandeltes Indiz ist die Änderung der Synchronität: Kurz vor einem Anfall beginnen verschiedene Bereiche im Gehirn augenscheinlich, im Gleichtakt zu marschieren. Lehnertz kann dieses Phänomen sichtbar machen, indem er Hirnstrom-Daten mit Methoden aus der Chaosforschung untersucht. „Schauen Sie“, sagt er und deutet auf seinen Bildschirm. Die Analyse-Methoden haben die EEG-Kurve zu einer Art Knäuel aufgewickelt. „Sehen Sie dieses Loch im Zentrum des Knäuels? Das deutet auf eine starke Synchronisierung der Hirnströme hin.“

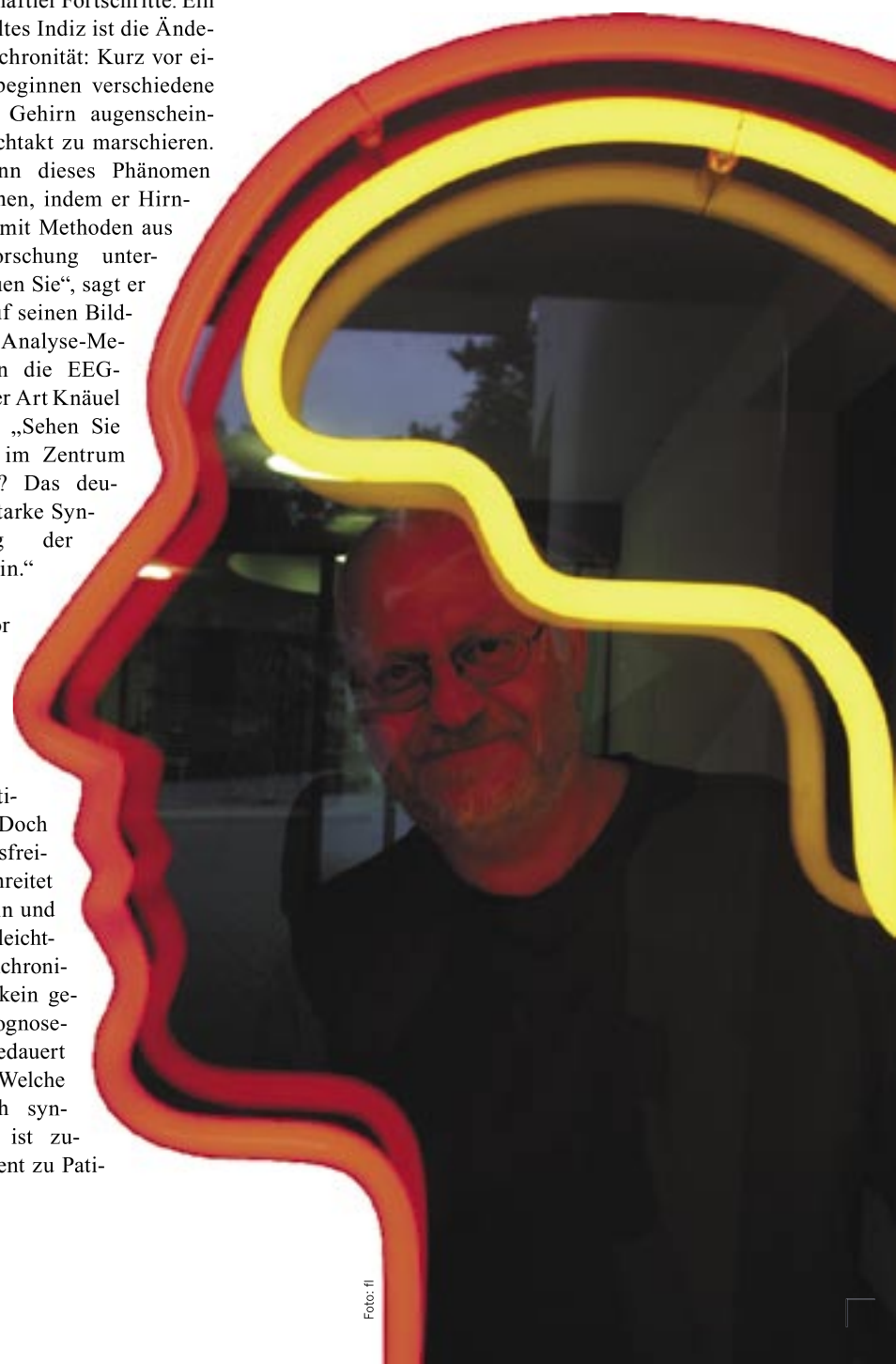
Kurz vor einem Anfall finden sich in den EEG-Daten vieler Patienten derartige Muster. Doch auch in anfallsfreien Phasen schreitet das Gehirn hin und wieder im Gleichtakt. „Synchronität allein ist kein geeignetes Prognosemerkmal“, bedauert Lehnertz. Welche Bereiche sich synchronisieren, ist zudem von Patient zu Pati-

ent unterschiedlich – manchmal sogar von Anfall zu Anfall.

Dazu gesellt sich eine weitere Schwierigkeit: Wenn man Verkehrsstaus vorhersagen könnte, würden sie an dieser Stelle vielleicht gar nicht entstehen, weil alle Verkehrsteilnehmer als Reaktion einen anderen Weg fahren würden. Ähnlich könnte das Wissen um einen nahenden Anfall theoretisch seine Entstehung beeinflussen. Hense und Miller haben mit diesem psychologischen Effekt dagegen nicht zu kämpfen: Wie auch immer die Vorhersage aussieht – weder das Wetter noch der Erdmantel scheitern sich darum auch nur einen Deut.

FL/FORSCH

▼ Klaus Lehnertz fahndet in Hirnstromdaten nach Vorzeichen für einen nahenden epileptischen Anfall.



Ein „Messie“ folgt seiner eigenen Ordnung

Sammelwut und Ordnungswahn in der medizinischen Psychologie

„What a mess – was für ein Chaos!“ Kleidung und Gegenstände liegen wild verstreut auf dem Boden herum, in der Küche stapelt sich Geschirr. Die Ableitung „Messie“ allerdings meint keinen Menschen, der verwahrlost oder unordentlich ist. Sondern einen, der alles aufhebt – und dessen Zuhause einem Magazin gleicht, in dem er sich kaum noch bewegen kann.

Dinge aufheben, weil man sie vielleicht noch brauchen kann... das machen viele Menschen. Professor Dr. Henrik Walter von der Abteilung Medizinische Psychologie am Zentrum für Nervenheilkunde nickt: „Vieles ist in Maßen ganz normal, erst im Exzess zeigt sich eine ernste Störung.“ Nämlich dann, wenn jemand Angst hat, sich von Dingen zu trennen, automatisiert Sachen sammelt, sich in seiner Wohnung hunderte von Gegenständen stapeln, die nie benutzt werden. „Gemeint ist also nicht der Sammeltrieb bei Dingen, die jemand gern betrachtet oder für die er noch Verwendung hat. Oder die er einfach in möglichst beeindruckender Anzahl oder Vielfalt haben will. Das wäre nur ein – unter Umständen überzogenes – Hobby.“ „Messie“ oder „Vermüllungssyndrom“ ist keine offizielle Diagnose und keine eigenständige Erkrankung, sondern ein Symptom. Es tritt bei verschiedenen Erkrankungen wie Psychose, Depression oder Sucht auf, muss aber nicht eine solch schwere psychische Störung als Ursache haben. Psychologisch wird es als Versuch verstanden, „Löcher in der Seele“ zu stopfen.

Auf der anderen Seite gibt es eine zwanghafte Ordentlichkeit. Die Dosen im Vorratsschrank stehen millimetergenau ausgerichtet. Die Decke

wird immer wieder glattgestrichen. Die Wohnung ist immer piccobello aufgeräumt. Abläufe müssen in ganz bestimmter Weise oder zu einer ganz bestimmten Zeit erfolgen. Wer derart pedantisch ist, nervt seine Umwelt vielleicht nur oder wird belächelt. „Unregelmäßigkeit wirkt auf den einen Menschen anregend, einem anderen kann sie Angst machen“, sagt Professor Walter. „Rituale, eine Wiederholung von Gleichem beruhigen.“ In Maßen ist auch das normal. Aber wenn Menschen unter Zwanghaftigkeit leiden, ist Hilfe nötig.

Psychologen unterscheiden die Zwangsstörung als Erkrankung von der Zwanghaftigkeit als Charaktereigenschaft. „Bei einer ausgeprägten Zwangsstörung wissen die Patienten, dass eine Handlung unsinnig ist – zum Beispiel ständig wiederholtes Händewaschen.“ Eine Zwangsstörung ist eine schwerere Erkrankung als man denkt. Sie kann sowohl medikamentös als auch mit Verhaltenstherapie behandelt werden. Denn alle psychologischen Funktionen sind Gehirnfunktionen, und Psychotherapie bedeutet Verhaltensänderung durch Lernen. Eine Zwangsstörung kann ohne äußeren Anlass entstehen, aber auch durch nachweisbare Gehirnschäden – zum Beispiel durch eine Streptokokken-Infektion,

die eine Schwellung in tief im Gehirn liegenden Zellkernen, den Basalganglien, bewirkt. Wenn sie zurückgeht, lassen auch die Symptome nach.

Beeinträchtigen „Messietum“ oder Zwangsstörungen Betroffene zwangsläufig im Beruf? Nicht unbedingt. Jemand, der privat ein Messie ist, kann das bei der Arbeit unter Umständen erfolgreich verbergen. Patienten mit nicht stark ausgeprägter Zwangsstörung oder Zwanghaftigkeit sind in manchen Berufen vielleicht sogar besser als andere – zum Beispiel, wenn es um akribische Dokumentation oder Genauigkeit geht. Das Spektrum reicht vom unauffällig und arbeitsfähig sein über den Schwerbehindertensstatus bis zur Arbeitsunfähigkeit. „Grundsätzlich ist Zwanghaftigkeit in einer Persönlichkeit schwer zu ändern, eventuell zu kontrollieren, aber ganz weg kriegt man sie nicht“, weiß Professor Walter. Bei einer weitgehend er-

folgreichen Therapie fällt mit den Zwangshandlungen eine Struktur weg. Hier ist Professor Walter zuversichtlich: „Diese Lücke im Tagesablauf sinnvoll füllen zu helfen, damit gehen wir gerne um!“

UK/FORSCH

Bücher JAMES

1975 25 2000

**FACHBUCHHANDLUNG
JAMES HELMUT ZOWE**

Medizin • Zahnmedizin • Pharmazie • Biowissenschaften
Tel. 0228 / 220110 • Fax 0228 / 261034
eMail: buecher-james@t-online.de
Königstr. 86 • 53115 Bonn-Südstadt

Medizinbücher kommen von Bücher JAMES – Ihre Vorteile auf einen Blick:

- ▶ Umfangreiche, aktuelle und gut sortierte Auswahl medizinischer Fachliteratur aus dem In- und Ausland
- ▶ Schneller Beratungsdienst jeder Art von Literatur (ca. 400.000 lieferbare Bücher von heute auf morgen)
- ▶ Grosses Angebot für Physiotherapie und Heilberufe
- ▶ Riesenauswahl an preisgünstigen Sonderangeboten
- ▶ Kompetente, freundliche Beratung, Top-Service
- ▶ Portofreier Buchversand bundesweit ab 100,- €

Vom Studienanfänger bis zum Chefarzt – hier findet jeder das richtige Buch



Taschenlampe im Schwanz

Elefantenrüsselfische „sehen“ mit Elektrosensoren

Der aus Zentralafrika stammende Elefantenrüsselfisch orientiert sich mittels schwacher elektrischer Felder. In völliger Dunkelheit können die Tiere aus der Distanz sogar das Material von Objekten unterscheiden – oder tote Organismen von lebendigen.

Der zigarrenlange Fisch schwebt mit geneigtem Kopf knapp über dem kiesbedeckten Grund. Während er langsam vorwärts schwimmt, pendelt sein rüsselartig verlängertes Kinn stetig von rechts nach links, immer in wenigen Millimetern Abstand vom Boden. Der Fisch benimmt sich dabei wie ein Schatzsucher, der mit seinem Metalldetektor am Strand nach vergrabenen Goldmünzen sucht. Letztlich macht er auch nichts anderes: Verborgen im Sediment warten zahlreiche tote Mückenlarven auf ihn – seine Leibspeise.

Zoologen der Universität Bonn haben die Larven dort versteckt. „Wir wollten herausfinden, ob er sie findet“, erläutert Professor Dr. Gerhard von der Emde. „Er“ – das ist der afrikanische Elefantenrüsselfisch. Sein charakteristisch geformtes Kinn funktioniert aber nicht etwa wie eine besonders empfindliche Nase. Stattdessen enthält es mehr als 500 Elektrosensoren, mit denen er seine Umgebung wahrnimmt.

Mit diesem Sinn hat sich das Tier die Nacht erobert: Tagsüber versteckt es sich, erst im Schutz Dunkelheit geht es auf Nahrungssuche. Das

Kinn des Elefantenrüsselfischs ist dabei gewissermaßen sein Auge. In seinem Schwanz steckt die dazugehörige Taschenlampe: Über umgewandelte Muskelzellen erzeugt er damit regelmäßige elektrische Pulse von wenigen Volt Spannung. 80 Mal pro Sekunde schaltet der Fisch diese kleine Batterie für einen Wimpernschlag an und wieder aus. Gleichzeitig misst er über seine Hautsensoren das elektrische Feld, das sich dabei um ihn aufbaut. Gegenstände in seiner Nähe verzerren das Feld; der Fisch erhält so ein Bild seiner Umgebung.

Von der Emde und sein Team haben getestet, was die Tiere mit ihrem Elektrosinn wahrnehmen können. Dazu stellten sie im Aquarium beispielsweise einen kleinen Würfel und eine Pyramide auf. Immer, wenn die Fische zur Pyramide schwammen, wurden sie mit einer Mückenlarve belohnt. Ihre Augen nutzten den flinken Schwimmern nichts: Die Experimente fanden unter Infrarot-Beleuchtung statt, so dass nur die Forscher mit ihren Spezialkameras etwas wahrnehmen konnten. Von den Ergebnissen waren sie selbst verblüfft: In neun von zehn Fällen schwammen die Fische zielsicher zur Pyramide. Selbst wenn die Forscher Drahtmodelle statt massiver Objekte verwandten, ließen sich die Versuchstiere nicht beirren. Sogar mit unterbrochenen Konturen kamen sie dabei zurecht: „Wir haben beispielsweise zwei übereinander liegende Draht-Quadrate in ein für elektrische Felder durchlässiges Gelee eingebettet“, sagt Professor von der Emde. „Die Fische erkannten da-

rin noch immer den Würfel – sie ergänzten also ähnlich wie ein Mensch die fehlenden Konturen.“

Wie beim Raumschiff Enterprise

Was der Bordarzt der Enterprise „Pille“ kann, kann der kleine Fisch aus Afrika schon lange: Lebendige von sterbenden oder toten Organismen unterscheiden, ohne sie zu berühren. „Mit seinem Elektrosinn misst er ihre Fähigkeit, Ladungen zu speichern“, erklärt von der Emde. „Tote Pflanzen oder Tiere können das nicht.“ Das Elektrobild verrät ihm sogar, aus welchem Material der entsprechende Gegenstand ist: Metall liefert ein sehr „helles“ Bild, Nichtleiter schwächen das elektrische Feld dagegen ab. Und auch Entfernungen kann er auf wenige Millimeter genau messen. Dazu nutzt er die Tatsache, dass das elektrische Bild mit wachsender Distanz immer „unschärfer“ wird.

Soviel Grips kommt nicht von ungefähr: Das Kleinhirn der Elefantenrüsselfische ist monströs vergrößert. Im Vergleich zu ihrer Körperlänge haben die Tiere ein größeres Gehirn als der Mensch. „Sie sind wirklich intelligent“, schwärmt der Zoologe; „deshalb macht es auch soviel Spaß, mit ihnen zu arbeiten.“ Er hat auch schon mal versucht, elektrische Fische aus Südamerika zu dressieren. „Das war ein Fehlschlag“, erinnert er sich; „die Tiere sind zwar sehr hübsch, für komplexe Aufgaben aber eindeutig zu dumm.“

FL/FORSCH

▲ Kann fast so viel wie Enterprise-Bordarzt „Pille“: Der Elefantenrüsselfisch

Datenspeicherung im atomaren Kreisverkehr

Phänomen könnte die Entwicklung besserer Festplatten ermöglichen

Es gibt rechts- und linksdrehende Joghurtkulturen, rechts- und linksdrehende Schneckengehäuse, rechts- und (seltener) linksdrehende Schrauben. Wissenschaftler der Universität Bonn haben nun zusammen mit Berliner und Genfer Kollegen nachgewiesen, dass es auch rechts- und linksdrehende „Magnetwirbel“ gibt. Dieses physikalische Phänomen könnte in Zukunft den Bau schnellerer Festplattenspeicher ermöglichen.

Einen magnetischen Wirbel kann man sich wie eine Art Kreisverkehr vorstellen. Anstelle von Autos sind hier jedoch magnetisierte Atome im Kreis angeordnet. Sie bilden gewissermaßen einen Ring von winzig kleinen Stabmagneten. Wirklich bewegen tut sich im atomaren Kreisverkehr nichts. Dennoch hat er eine Richtung: Wenn die „Nordpole“ alle in Uhrzeigerrichtung zeigen, ist der Magnetwirbel „rechtsdrehend“, ansonsten ist er „linksdrehend“.

„Man vermutet seit einigen Jahren, dass es solche atomaren Verkehrskreisele gibt“, erklärt der Bonner Physiker Professor Dr. Manfred Fiebig. „In der Nature-Studie haben wir in einer Substanz namens Lithiumkobaltphosphat nun tatsächlich derartige Wirbel gefunden und mit Hilfe eines laseroptischen Verfahrens ihre Richtung bestimmt.“ In Anlehnung an den Begriff „Ferromagnetismus“

nennen die Autoren – neben Fiebig der Niederländer Bas Van Aken sowie die Genfer Physiker Hans Schmid und Jean-Pierre Rivera – das Phänomen „Ferrotoroidizität“.

Schon aus Sicht der Grundlagenforschung ist der Fund hoch interessant. Darüber hinaus kann er aber auch handfeste technologische Konsequenzen haben. Denn in Magnetwirbeln lassen sich Informationen speichern: Läuft der atomare Kreisverkehr rechts herum, steht er beispielsweise für die Binärzahl „0“, ist er linksdrehend, steht er für die „1“ – ein Prinzip, das in künftige Computertestplatten Einzug halten könnte.

„Heute speichert man Daten durch die entsprechende magnetische Polung der Festplatten-Beschichtung“, erläutert Manfred Fiebig. „Auf dem Datenträger liegen viele Billionen dieser polbaren Bereiche hinter-

einander. Um sie zu beschreiben oder Informationen von ihnen zu lesen, benötigt man Magnetfelder.“ Problem dabei: Zum einen muss zur Erzeugung dieser Felder ein Strom fließen, wofür elektrische Ladungsträger in Bewegung gesetzt werden. Dies ist jedoch ein relativ langsamer Prozess. Zum anderen besteht bei der immer höheren Datendichte die Gefahr, dass die auslesenden Magnetfelder die gespeicherte Information zerstören.

Die atomaren Kreisverkehre haben diesen Nachteil nicht. Zwar sind in ihnen die Information ebenfalls „magnetisch“ gespeichert. „Die Drehrichtung der Wirbel lässt sich aber durch elektrische Felder verändern“, betont Manfred Fiebig. „Auch zum Auslesen benötigt man keine Magnetfelder, die die gespeicherten Daten irrtümlich überschreiben könnten.“ Ein weiterer Vorteil: Zur Erzeugung elektrischer Felder muss kein Strom fließen; die Speicherung kann also im Prinzip wesentlich schneller erfolgen.

Nächstes Ziel: Schreiben lernen

Fiebig ist vor einem guten Jahr vom Berliner Max-Born-Institut an die Uni Bonn gekommen. In Bonn fand auch die Auswertung der in Berlin gemessenen Daten statt, die nun zum Nachweis der Wirbel führte. „Bislang ist es uns allerdings nur gelungen, die Drehrichtung der Magnetwirbel zu lesen“, sagt der Physiker. In einem nächsten Schritt wollen seine Mitarbeiter und er nun auch gezielt Informationen schreiben. Außerdem suchen sie nach weiteren Materialien, die eventuell für zukünftige Massenspeicher in Frage kommen.

Die Festplatte der Zukunft werden Fiebig und sein Team aber sicher nicht bauen, wie er selbst betont: „Uns interessieren vor allem die Grundlagen des Phänomens und was sie über die Natur des Magnetismus verraten. Wenn daraus irgendwann eine technologische Anwendung entsteht, ist das natürlich um so schöner.“

FL/FORSCH

▼ Professor Fiebig (rechts) und seine Mitarbeiter wollen die Drehrichtung der Magnetwirbel gezielt verändern, um in ihnen so Informationen zu speichern.

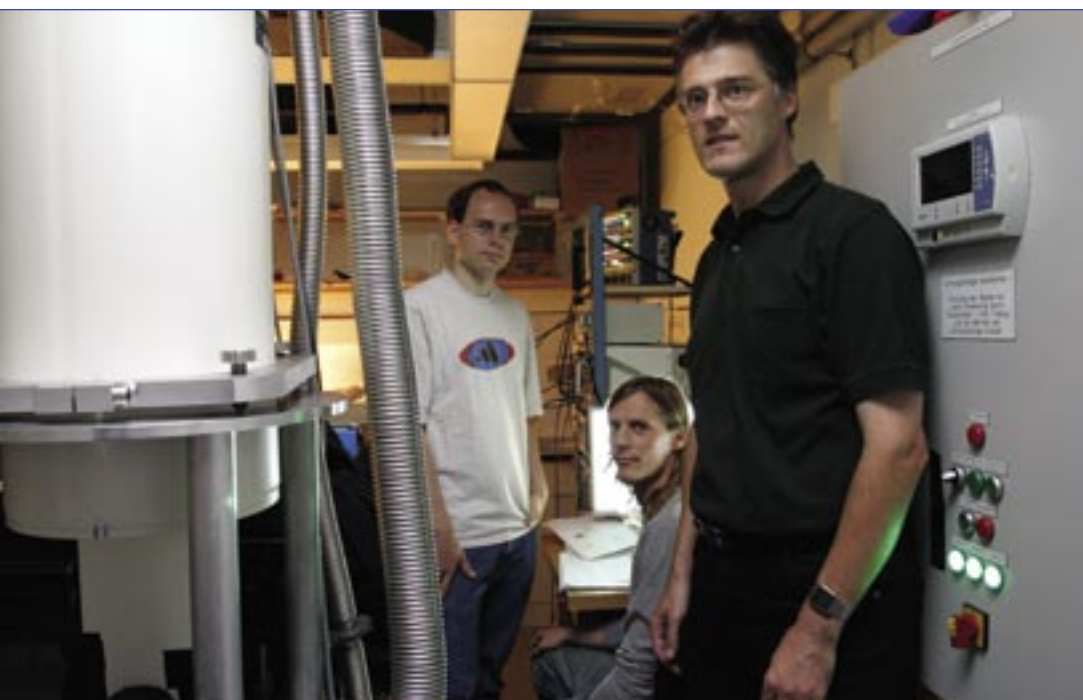


Foto: T

Hightech-Hilfe für Indiana Jones

Forscher wollen archäologischen Funden ihre Geheimnisse entreißen

Bonner Wissenschaftler füllen kleine Metallwürfel mit Dachsknochen und „fälschen“ jahrhundertalte Schmuckstücke – alles für die Wissenschaft: Zusammen mit Kollegen aus fünf Ländern wollen sie eine Methode entwickeln, mit der sie in das Innere wertvoller archäologischer Funde und historischer Kunstobjekte blicken können, ohne sie zu zerstören.

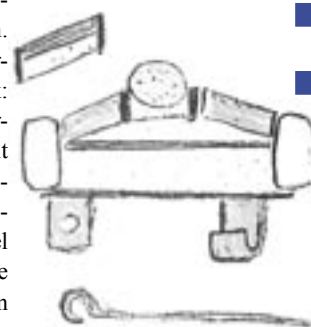
Die Fälschung ist haarklein dokumentiert, angefangen von den ersten Skizzen bis hin zur fertigen reich verzierten Brosche. Die „Fälscher“ selbst sind spürbar stolz auf ihr Werk. „Sieht doch ganz naturgetreu aus, nicht wahr? Auch wenn wir statt einer echten Perle eine synthetische aus dem Baumarkt genommen haben“, erklären der Bonner Kristallograph Professor Dr. Armin Kirfel und der Leiter der Feinmechanikwerkstatt Herbert Phiesel. Phiesels und Kirlfels Mitarbeiter im Mineralogisch-Petrologischen Institut haben die Replik aus Gold, Silber, Kupfer, Eisen und einem Almandinkristall angefertigt. Das unermesslich wertvolle Vorbild lagert im Ungarischen Nationalmuseum in Budapest. Vor mehr als vierzehnhundert Jahren mag die Brosche die Brust eines Merowinger-Fürsten geziert haben. Noch immer rätseln die Forscher, wie das Schmuckstück genau hergestellt wurde.

Wissenschaftler aus fünf europäischen Ländern versuchen momentan, diese Frage zu beantworten. In Deutschland sind die Universitäten Köln und Bonn in das Projekt namens „ANCIENT CHARM“ eingebunden. Darin geht es aber um mehr: Die Projektpartner wollen eine neue Methode entwickeln, um in das Innere von wertvollen archäologischen Funden oder kunsthistorischen Objekten zu schauen, ohne sie nur im geringsten zu beschädigen. Die EU fördert die Kooperation mit nahezu zwei Millionen Euro. „Wir wollen die Stücke mit verschiedenen Verfahren durchleuchten und so im Computer ein dreidimensionales Abbild konstruieren, aus dem das Innere der Funde, also ihre Materialzusammensetzung, en Detail ersichtlich wird“, erläutert Kirfel. Bevor sie ihre tomographischen und spektroskopischen Methoden auf unersetzliche Originale loslassen, erproben die Forscher sie zunächst an Kopien. Das ist auch der Grund, warum Kirfel und seine Mitarbeiter sich als „Fälscher“ betätigen.

Die Bonner Mineralogen bauen auch so genannte „Black Boxes“ – das sind Metallwürfel von fünf Zentimetern Kantenlänge, die sie mit verschiedenen Materialien in unterschiedlichen Anordnungen füllen. Ihre Projektpartner sollen nun herausfinden, wie diese „Innereien“ be-

schaffen sind – allein durch Anwendung der verschiedenen zerstörungsfreien Durchleuchtungsmethoden. Dabei gehen Kirfel und seine Mitarbeiter mit einiger Phantasie ans Werk: So enthält einer der Würfel den Oberschenkelknochen eines Dachs, mit Leder umwickelt und von einer Hülle aus Holz umgeben. Über eine besondere schwierige Nuss will Kirfel noch keine Details preisgeben – die Untersuchungen der Bonner Boxen sind noch nicht abgeschlossen. „Nur soviel: Wir haben ganz unterschiedliche Objekte in ein Füllmaterial eingebettet, das Wasserstoff enthält“, verrät Kirfel. „Wasserstoff erschwert die Neutronendurchleuchtung und verursacht eine starke Untergrundstreuung – das ist eine besondere Herausforderung.“

FL/FORSCH



▲ Skizze der nachgebauten Merowinger-Brosche

▼ Herbert Phiesel (links) und Prof. Dr. Armin Kirfel befüllen eine Black Box.



► **Moose als Feinstaub-Killer:** Forscher um den Bonner Biologen Professor Dr. Jan-Peter Frahm rücken gefährlichen Feinstäuben mit Moosen zu Leibe. Wie ein biologisches Mikrofasern-Staubtuch schlucken die Pflanzen große Mengen der gefährlichen Luftpartikel. Viele Abgas-Bestandteile dienen ihnen sogar als Nahrung; andere werden durch Bakterien abgebaut, die auf den Moosblättchen leben. In Bonn sind die natürlichen Luftfilter nun erstmals auch zur Straßenbegrünung eingesetzt worden. Feinstaub gilt als giftig: Nach Schätzungen der EU-Kommission kosten die Mikropartikel in der Luft jährlich 300.000 Europäern das Leben.

► **DFG fördert Lichtbändiger:** Über 1,7 Millionen Euro können sich Wissenschaftler der Universitäten Bonn, Mainz und Stuttgart freuen. Mit diesem Betrag fördert die Deutsche Forschungsgemeinschaft (DFG) in den kommenden drei Jahren eine Forschergruppe im Bereich Photonik. Ziel der Wissenschaftler sind Fortschritte bei der Bündelung und Kontrolle von Licht. Sprecher der Gruppe ist Professor Dr. Karsten Buse, Inhaber der Heinrich-Hertz-Stiftungsprofessur der Deutschen Telekom AG an der Universität Bonn. „Unsere Untersuchungen bieten spannende Grundlagenphysik und sind gleichzeitig sehr anwendungsnahe“, erklärt der Physi-

ker. „Glasfasernetze, CDs und DVDs, aber auch moderne Bildschirme wären ohne die Fortschritte auf diesem Gebiet nicht denkbar.“

► **„Brain drain“ mal anders herum:** Mit dem Stammzellforscher Dr. Björn Scheffler (Jahrgang 1971) macht sich ein in den USA tätiger Wissenschaftler auf den Weg zurück nach Deutschland. Mit Förderung der Volkswagen-Stiftung tritt der Nachwuchsforscher eine Lichtenberg-Professur am Institut für Rekonstruktive Neurobiologie der Universität Bonn an. Dort wird er in den kommenden fünf Jahren erforschen, wie Stammzellen an der Bildung von Tumoren beteiligt sein können.

Lebensspendende Gesteine

Minerale sorgen dafür, dass die Erde nicht zur Wüste wird

Hätte unser Planet nicht die Fähigkeit, Sauerstoff in den Tiefen seines Mantels zu speichern, gäbe es auf ihm vermutlich kein Leben. Zu diesem Schluss kommen Wissenschaftler der Uni Bonn, die im Labor das Mineral Majorit unter die Lupe genommen haben. Majorit kommt normalerweise nur in mehreren hundert Kilometern Tiefe unter hohen Drücken und Temperaturen vor. Die Forscher haben nun gezeigt, dass das Mineral unter diesen Bedingungen als „Sauerstoffspeicher“ fungieren kann. In der Nähe der Erdoberfläche zerfällt es; der Sauerstoff wird frei und verbindet sich mit Wasserstoff aus dem Erdinnern zu Wasser. Ohne diesen Mechanismus wäre der „blaue Planeten“ wohl ebenso trocken und lebensfeindlich wie der Mars.

Der sprichwörtlich „feste Boden“ unter unseren Füßen ist eigentlich in stetigem Fluss: An den Grenzen zwischen den Kontinentalplatten, in den so genannten Subduktionszonen, taucht er viele hundert Kilometer ins Erdinnere ab. Dabei nimmt er auch Sauerstoff mit sich, der im Erdmantel als Eisenoxid gebunden ist und der noch aus den grauen Urzeiten des Universums stammt.

Tief unter der Erdoberfläche herrschen hohe Drücke und Temperaturen; das Mantelmaterial schmilzt. Das Eisenoxid durchläuft dabei eine chemische Metamorphose: Der darin gebundene Sauerstoff wird dadurch gewissermaßen reaktionsfähiger. Zudem wechselt er sein Transportmittel und wird in das exotische Mineral Majorit eingebaut, das nur in diesen Tiefen vorkommt. „Je höher der Druck, desto mehr Sauerstoff kann Majorit speichern“, erklärt Pro-

fessor Dr. Christian Ballhaus vom Mineralogischen Institut. Auch im Majorit fährt der Sauerstoff gewissermaßen Fahrstuhl – diesmal allerdings in umgekehrte Richtung: Wie warme Luft über der Heizung steigt das Mineral auf – Experten sprechen von Konvektion. In der Nähe der Erdoberfläche wird der Druck im Mantel zu schwach; das Majorit zerfällt. „Der gespeicherte Sauerstoff wird dabei frei“, erläutert Ballhaus, der diesen Mechanismus zusammen mit seinen Mitarbeitern erstmals im Labor genau untersucht hat. Gleichzeitig dünstet die Erde permanent Wasserstoff aus, der sich mit dem Sauerstoff zu Wasser verbindet. Ohne den „Sauerstoff-Fahrstuhl“ in ihrem Mantel wäre die Erde vermutlich ein lebensfeindlicher Wüstenplanet. „Planeten unter einer gewissen Mindestgröße haben nach unseren Ergebnissen kaum eine Chance, eine stabile wasserreiche Atmosphäre zu

bilden“, resümiert Arno Rohrbach, Doktorand am Mineralogischen Institut. „Der Druck im Erdmantel reicht bei ihnen einfach nicht aus, um genügend Sauerstoff im Gestein zu speichern und an der Oberfläche wieder abzugeben.“

Bollwerk gegen den Sonnenwind

Je größer ein Planet, desto größer ist auch seine Fähigkeit, Wärme zu speichern. Entsprechend langlebiger und intensiver ist somit die Konvektion in seiner Hülle. Der Mars beispielsweise mit seinen knapp 7.000 Kilometern Durchmesser (der Erddurchmesser beträgt 12.700 km) hat sich längst soweit abgekühlt, dass sich in seinem Mantel nichts mehr bewegt. „Damit hat seine Hülle auch die Fähigkeit verloren, Sauerstoff zu transportieren und eine wasserreiche Atmosphäre auf Dauer zu erhalten“, erklärt Ballhaus.

Auch in anderer Hinsicht ist die Größe eines Planeten für die Entstehung einer Atmosphäre entscheidend: Nur wenn die Temperaturen in seinem Innern so hoch sind, dass in ihm ein flüssiger Metallkern existiert, hat er auch ein Magnetfeld. Das Magnetfeld fungiert aber gewissermaßen als Bollwerk für den Sonnenwind, der sonst die Atmosphäre mit der Zeit einfach fortblasen würde.

FL/FORSCH

▼ Olaf Wucknitz möchte den Gravitationslinsen-Effekt nutzen, um mehr über weit entfernte Galaxien in Erfahrung zu bringen.



Foto: fl

► **Galaxien verbiegen die Raumzeit:** Dass große Massen die Ausbreitungsrichtung von Lichtstrahlen beeinflussen, hat man erstmals 1919 bei einer totalen Sonnenfinsternis nachgewiesen: Die Sterne, die am Rand unseres verdunkelten Zentralgestirns zu sehen waren, schienen weiter voneinander entfernt als normalerweise am Nachthimmel. Grund: Das von ihnen ausgehende Licht war zur Sonne hin abgelenkt worden. Mit diesem Gravitationslinsen-Effekt fahnden Physiker heute beispielsweise nach erdähnlichen Planeten. An der Universität Bonn hat nun eine neue Emmy-Noether-Nachwuchsgruppe ihre Ar-

beit angetreten. Die Forscher um Dr. Olaf Wucknitz wollen unter anderem untersuchen, wie extrem weit entfernte Galaxien mit Milliarden von Sternen die Raumzeit verbiegen. So können sie erkennen, wie Galaxien altern – und vielleicht Rückschlüsse auf die rätselhafte dunkle Materie ziehen.

► **Kleine Erde:** Groß ist die Abweichung nicht, aber dennoch bedeutend: Geodäten der Universität Bonn um Dr. Axel Nothnagel haben in einem langjährigen internationalen Kooperationsprojekt die Erde neu vermessen. Der Blaue Planet ist demnach einige Millimeter kleiner als

bislang angenommen. Wichtig sind die Ergebnisse beispielsweise, um einen klimabedingten Anstieg des Meeresspiegels nachweisen zu können.

► Forscher drehen an der Zeit:

Die Erde rotiert jedes Jahr langsamer. Die Gezeiten bremsen beispielsweise unseren Planeten pro Tag etwas ab. Dadurch entsteht ein Konflikt zwischen zwei Versionen der Zeit: der astronomischen Zeit UT1, die auf der Erdrotation basiert, und der physikalischen Atomzeit, die durch Cäsium-Atomuhren auf der Erde bestimmt wird. Eine internationale Kollaboration von Wissenschaftlern unter Be-

Expedition ins ewige Eis



Rund 200 Kilometer östlich der grönländischen Hauptstadt Nuuk, an der Grenze zum ewigen Eis, finden sich die ältesten Gesteine der Erde. Mit ihren stolzen 3,8 Milliarden Jahren handelt sich dabei um Überreste der ersten Kontinente und des ältesten Ozeanbodens. Elis Hoffmann, Geowissenschaftler vom Mineralogisch-Petrologischen Institut, hat sich im Sommer auf den Weg in den hohen Norden gemacht. Zurück kam er mit 40 Gesteinsproben aus der Kinderstube der Erde, die er nun für seine Doktorarbeit untersuchen wird.

Insgesamt sechs Wochen hat Elis Hoffmann seinen Schreibtisch in Bonn gegen ein Zelt in Westgrönland eingetauscht. „Von Nuuk aus wurden wir mit einem Helikopter rund 200 Kilometer weiter in das Basislager an die Grenze zum ewigen Eis geflogen“, erklärt er. Abgeschieden von der Zivilisation, mit nur einem alten Funkgerät als Kontakt zur Außenwelt, hat der Geologe dort zwischen Fjorden und Gletschern Proben gesammelt. Hoffmann ist sicher, dass sich die Arbeit

im Gelände gelohnt hat: „Diese alten Gesteine erlauben einzigartige Einblicke in die Frühgeschichte der Erde.“

3,8 Milliarden Jahre sind die Funde alt; der Blaue Planet selbst hat noch 750 Millionen Jahre mehr auf dem Buckel. Aus dieser Zeit haben jedoch nur einige Körner des verwitterungsresistenten Minerals Zirkon überlebt. Dennoch erlauben die Gesteinsproben aus Grönland indirekt Einblicke in die Kinderstube der Erde – also beispiels-

weise darauf, wie sich die Kontinente gebildet haben. Dazu wird Hoffmann seine Mitbringsel mit einem extrem präzisen Massenspektrometer genauer analysieren. Finanziert wurde das hochempfindliche Messgerät der Arbeitsgruppe Geochemie aus Mitteln der Deutschen Forschungsgemeinschaft (DFG). „Der wesentliche Teil meiner Arbeit findet im Labor statt“, sagt der Geologe. „Hier kann man die Gesteine datieren und aus ihren geochemischen Fingerabdrücken Rückschlüsse auf die Bedingungen auf der frühen Erde ziehen.“

Dass er die Sommermonate im kühlen Grönland verbracht hat, hat den Doktoranden übrigens nicht gestört: „Da oben war das Wetter augenscheinlich weniger verregnet als hier.“

LAURA PLANKO/FORSCH

▲ Elis Hoffmann wird den Geologenhammer nun gegen das Massenspektrometer tauschen.

teiligung des Max-Planck-Instituts für Radioastronomie und der Universität Bonn misst nun erstmals die Erdrotation nahezu in Echtzeit. Indem die Forscher ihre Teleskope weltweit vernetzen, können sie dadurch die Abweichung von der Standardzeit beobachten und korrigieren.

► Räder aus dem Reagenzglas:

Bonner Chemiker haben das Rad neu erfunden. Ein Jahr haben die Forscher um Professor Dr. Sigurd Höger an der Entwicklung eines „Kochrezepts“ gearbeitet, um im Reagenzglas die größten molekularen Speichenräder der Welt zu syntheti-

sieren. Würde man ein menschliches Haar in 10.000 Teile spalten, hätte jedes einzelne den Durchmesser eines dieser Räder. Für den Laien hört sich das winzig an, doch für Moleküle dieser Art ist die Bonner Konstruktion ein wirklicher Gigant. Mit ihrem Werk betritt die Gruppe Neuland im Bereich der Nanotechnologie und Verbundwerkstoffe. Vielleicht finden sich molekulare Speichenräder bald in Kunststoffen mit neuen Eigenschaften wieder.

► Höherer IQ macht geduldig:

Angenommen, jemand würde Ihnen heute 100 Euro schenken – oder in

einem Jahr 150 Euro: Welchen Betrag würden Sie nehmen? Forscher der Uni Bonn und des Instituts zur Zukunft der Arbeit (IZA) haben diese Frage rund 1.000 Erwachsenen in Deutschland gestellt. Gleichzeitig maßen sie mit zwei unterschiedlichen Methoden die kognitiven Fähigkeiten der Teilnehmer. Ergebnis: Intelligente Menschen warten lieber auf den höheren Gewinn, als direkt zuzugreifen. Es ist das erste Mal, dass dieser Zusammenhang zwischen Intelligenz und Geduld in Gelddingen nachgewiesen wurde. Auch die Bereitschaft, Risiken einzugehen, steigt mit höherer Intelligenz.

Punktlandung mit dem Skalpell

Mathematik sorgt im OP für den treffsicheren Schnitt

Mathematiker und Chirurgen der Uni Bonn wollen knifflige Hirnoperationen ein wenig leichter machen. Ein Computerprogramm soll auf Bildern einer OP-Kamera erkennen, wie sich das Gewebe während des Eingriffs deformiert. Dank dieser Informationen kann der Hirnchirurg mit dem Skalpell eine Punktlandung hinlegen.

springen, die Hirnströme des Patienten auf. Beim nächsten Krampfanfall lässt sich so feststellen, wo er entstand. Zusätzlich durchlaufen die Patienten eine aufwändige Testreihe: Die Ärzte schicken in jeden einzelnen Kontakt einen schwachen Strompuls. Dabei testen sie, wie sich die Reizung auf den Epilepsiekranken auswirkt – ob er beispielsweise kurzzeitig Schwierigkeiten hat, sich

die Situation. Das erschwert es den Chirurgen, mit dem Skalpell stets eine Punktlandung hinzulegen.

Um das Problem in den Griff zu bekommen, baut Schaller auf das Know-how eines Mathematikers: Professor Dr. Martin Rumpf vom Hausdorff-Zentrum für Mathematik möchte dazu Bilddaten aus dem OP-Mikroskop nutzen. „Wir haben einen Algorithmus entwickelt, der Fotos aus dem Mikroskop mit den vor der Operation gemachten Tomographiebildern in Deckung bringt“, erklärt Rumpf. Das Problem ist nicht trivial. Schließlich sind auf Tomographiebildern ganz andere Details zu sehen als auf herkömmlichen Fotos. So fehlen beispielsweise die Blutgefäße, die im Mikroskopbild deutlich rot hervorstechen. Außerdem kann man die Aufnahmen nicht einfach übereinander schieben, bis sie passen. „Da sich das Gewebe während des Eingriffs lokal unterschiedlich ausdehnt, sind die Mikroskop-Fotos im Vergleich zu den Tomographie-Bildern verzerrt“, sagt der Mathematiker. Das Problem ist es, diese Unterschiede so auszugleichen, dass dieselben Strukturen in Deckung kommen. Der Fachmann spricht von „Registrierung“. „Wir wollen die während der Operation aufgenommenen Mikroskopiebilder mit den tomographischen Aufnahmen registrieren“, erklärt Rumpf. „Wenn uns das gelingt, können wir die eingeblendete Position des Anfallsherdes und der benachbarten Hirnrindenfunktionen entsprechend korrigieren.“ Für Patienten und Ärzte würde der Eingriff damit sicherer.

In ersten Tests hat sich der Registrierungs-Algorithmus schon bewährt. Für die Weiterentwicklung der Methode hat die Deutsche Forschungsgemeinschaft gerade ein zweijähriges Projekt bewilligt. Der Schritt in die Praxis sei allerdings noch weit, betonen beide Wissenschaftler. „Als Mathematiker liefern wir die Methode“, sagt Rumpf. „Die technische Umsetzung ist dann Sache von Spezialisten aus der Medizintechnik.“

FL/FORSCH

► Professor Dr. Carlo Schaller (links) und Professor Dr. Martin Rumpf wollen Hirnoperationen vereinfachen.



Bei vielen Epilepsie-Patienten entspringen die Krampfanfälle immer wieder derselben Region im Gehirn. Wird diese Stelle entfernt, verschwinden die Anfälle – im Idealfall für immer. Oft lässt sich jedoch nicht genau sagen, wo der Epilepsie-Herd sitzt.

Gerade bei Hirnoperationen ist es aber wichtig, dass der Chirurg sein Skalpell an der richtigen Stelle ansetzt. Denn ein falscher Schnitt kann gravierende Folgen haben, etwa wenn Sprachzentrum oder Gedächtnis geschädigt werden. Daher öffnen die Bonner Hirnchirurgen zur Lokalisierung des Herdes den Schädel und legen eine rechteckige Silikonfolie auf die Hirnoberfläche. Auf der Folie sind in regelmäßigem Abstand bis zu 64 Elektrodenkontakte angebracht. Nach der Operation wird der Patient in die Klinik für Epileptologie unter Leitung von Professor Dr. Christian Elger verlegt. Dort zeichnen die Ärzte über die Kabel, die der Folie ent-

zu artikulieren. „Wir erhalten eine Art Karte, auf der die Hirnfunktionen rund um den Anfallsherd verzeichnet sind“, erklärt Professor Dr. Carlo Schaller, Leitender Oberarzt an der Klinik für Neurochirurgie.

Bevor sie die Folie wieder entnehmen, erfassen die Mediziner mit dem Computertomographen die genaue Position der Elektroden. Bei der Entfernung des Epilepsie-Herdes können sie so die Lage der Elektrodenkontakte in das OP-Mikroskop einblenden lassen. „Dort sehen wir dann farblich markiert den Anfallsherd, aber auch die Regionen, die wir auf keinen Fall schädigen dürfen“, sagt Schaller. Problem ist nur, dass sich das Gehirn beim Eingriff verändert – und zwar häufig schon, sobald der Schädel geöffnet wird. So kann sich das Gewebe aufgrund der Druckentlastung ausdehnen. Mit jedem Stück Gehirnschubstanz, das entnommen wird, verändert sich zudem



► Kampf dem kleinen Mann im Ohr:

Phantomgeräusche im Ohr, auch Tinnitus genannt, können viele Gründe haben. „Dass hinter den lästigen Ohrgeräuschen eine Fehlstellung des Kiefergelenks stecken kann, ist nur wenig bekannt“, sagt Professor Dr. Bernd Koeck, Direktor der Klinik für Zahnärztliche Prothetik des Universitätsklinikums Bonn. Denn Mittelohr und Kiefergelenk liegen ganz eng beieinander und sind nur durch eine dünne Knochenlamelle getrennt. Bei der so genannten craniomandibulären Dysfunktion (CMD) kommt es etwa durch eine angeborene Zahnfehlstellung oder Zähneknirschen zum Verlust der richtigen Bisshöhe. Dadurch verlagert sich der Kiefergelenkkopf. Wird er beim Schließen des Mundes weit nach hinten in Richtung Mittelohr geschoben, kann er enormen Druck auf zwei dazwischen liegende Nerven ausüben. Ein Tinnitus oder auch Schläfenkopfschmerzen können die Folgen sein.

Abhilfe schafft eine hauchdünne Schiene aus glasklarem Kunststoff, mit der die Bonner Zahnärzte die Gelenkköpfe wieder in ihre ursprüngliche Position zurückbringen. Die individuell angepasste Schiene wird regelmäßig neu justiert und abgeschliffen, bis der ideale Biss stabilisiert ist. „Bei einem rechtzeitigen Eingreifen eines erfahrenen Zahnarztes besteht eine große Chance auf Heilung“, sagt Professor Koeck. „Das erspart dem Patienten möglicherweise eine lange Odyssee.“

► Gegen Alzheimer und MS:

Die Deutsche Forschungsgemeinschaft fördert an der Uni Bonn eine neue Klinische Forschergruppe im Bereich Neurologie. Thema sind die Abläufe im Immunsystem, die zu den für Multiple Sklerose und die Alzheimer-

Krankheit typischen Schäden im Gehirn führen. Die Gruppe will neueste Erkenntnisse über beide Krankheiten zusammenführen, um die Interaktion der Neurodegeneration und der Entzündungsprozesse besser zu verstehen und so den Grundstein für mögliche neue Therapien zu legen. Die Universität beteiligt sich an ihrer Finanzierung mit der Hälfte der erforderlichen Mittel und stellt zusätzlich eine Professorenstelle für die Leitung der Gruppe zur Verfügung. Diese hat Professor Dr. Michael Thomas Heneka inne; Sprecher der Gruppe ist Professor Dr. Thomas Klockgether.

► „Modellseuche“ SARS:

Im November 2002 berichtete China über erste Fälle einer bis dato unbekannten Infektionskrankheit. Rund 8.000 Menschen wurden in den darauf folgenden Monaten von ihr befallen, 10 Prozent starben. Dabei reiste die Seuche um die Welt: Allein in Kanada steckten sich mehr als 200 Menschen an. Auch aus Deutschland und Großbritannien wurden im Frühjahr 2003 Krankheitsfälle gemeldet. Hamburger Wissenschaftlern aus dem Team um Professor Dr. Christian Drosten gelang es schließlich, den Erreger des „Schweren Akuten Atemwegssyndroms“ – besser bekannt unter dem Kürzel SARS – zu identifizieren. Es handelt sich um ein so genanntes Coronavirus, welches normalerweise in Fledermäusen vorkommt, dort aber keine Symptome hervorruft.

Drosten ist kürzlich an die Universität Bonn gewechselt, das Thema „SARS“ beschäftigt ihn jedoch weiterhin: In Bonn erforscht er die so genannten Zoonosen, zu denen neben SARS auch die Vogelgrippe, Ebola oder das Dengue-Fieber gehören. Ihnen ist gemeinsam, dass

ein auf Tiere spezialisierter Erreger plötzlich auch Menschen infiziert. Oft steht das humane Immunsystem der neuen Herausforderung mehr oder weniger machtlos gegenüber; entsprechend verheerend können Zoonosen wüten. Doch wie erfolgt überhaupt der Sprung über die Artgrenze? Und aufgrund welcher Faktoren werden manche Erreger dann so extrem aggressiv? Drosten und seine Kollegen wollen zusammen mit Forschern aus Hannover, Freiburg, Gießen und dem südafrikanischen Johannesburg diesen Fragen nachgehen. Das Bundesforschungsministerium fördert das Projekt mit rund 3,5 Millionen Euro.

► Heilsamer Erbgut-Cocktail:

Das Immunstimulans Alpha-Interferon ist sündhaft teuer. Mehrere Tausend Euro werden für ein Dutzend Injektionen fällig. Ärzte setzen die Substanz beispielsweise gegen chronische Formen der Hepatitis C ein – eine Leberentzündung, die durch Viren ausgelöst wird. Das Paradoxe daran: Normalerweise produziert der Körper bei einer Virus-Infektion selbst Alpha-Interferon. Manchen Erregern gelingt es jedoch, diesen Abwehrmechanismus zu unterlaufen. Die Deutsche Forschungsgemeinschaft (DFG) fördert jetzt am Bonner Universitätsklinikum eine neue Emmy-Noether-Nachwuchsgruppe. Die Forscher um Dr. Winfried Barchet wollen das so genannte angeborene Immunsystem – dazu gehört auch die Interferon-Antwort – mit einem Cocktail aus künstlichen Erbgut-Molekülen „auf Trab bringen“. Nicht nur die Behandlung von Hepatitis C könnte so schlagkräftiger und kostengünstiger werden. Die Gruppe erhofft sich auch neue Waffen gegen Krebs.



◀ Winfried Barchet (3.v.l.) und seine Mitarbeiter wollen das Immunsystem mit einem Cocktail aus künstlichen Erbgut-Molekülen auf Trab bringen.

Brustkrebs finden, bevor er gefährlich wird

MRT spürt Vorstufen doppelt so häufig auf wie die Mammographie

Eine aktuelle Studie könnte einen Paradigmenwechsel in der Früherkennung von Brustkrebs einleiten: Demnach ist die Magnetresonanztomographie (MRT) bei der Diagnostik von Brustkrebs-Vorstufen deutlich treffsicherer als die Mammographie. Bislang galt die MRT als wenig geeignet, solche „intra-duktales Mammakarzinome“ aufzuspüren. Forscher der Universität Bonn kommen nun zu einem ganz anderen Ergebnis: In den vergangenen fünf Jahren haben sie mehr als 7.000 Frauen mit beiden Methoden untersucht. Bei insgesamt 167 Frauen fanden die Mediziner Brustkrebs-Frühsymptome – 152 (92%) davon mittels MRT, 93 (56%) mittels Mammographie.

Brustkrebs entsteht aus den Zellen, die die Milchgangswände von innen auskleiden. Zunächst verbleibt der Tumor noch im Milchgang. Mediziner sprechen von einem intra-duk-

te (high-grade) DCIS. Während low-grade DCIS sich oft noch relativ gutartig verhalten, manchmal sogar den Milchgang nie verlassen und damit den Frauen möglicherweise nie ge-

wesentlichen Gründe dafür war, allein die Mammographie zur Früherkennung einzusetzen.

Mit ihren Ergebnissen stellen die Bonner Mediziner diese Lehrbuchweisheit nun auf den Kopf. Insgesamt 7.319 Frauen haben Professor Kuhl und ihre Kollegen in den letzten fünf Jahren mit beiden Methoden untersucht. Bei 167 von ihnen fanden sie Brustkrebs-Vorstufen. „In der Mammographie waren nur 93 DCIS zu sehen, mit der MRT dagegen 152“, fasst die Radiologin die Ergebnisse zusammen. „Und nicht nur das: Gerade die besonders aggressiven high grade DCIS waren mit der MRT besonders gut, mit der Mammographie dagegen besonders schlecht zu erkennen.“ Insgesamt fanden die Mediziner im Laufe der Studie 89 high grade DCIS. Die MRT erkannte 98 Prozent dieser aggressiven Brustkrebs-Vorstufen, die Mammographie nur 52 Prozent. Grund: Gerade die schnell wachsenden Tumore machen sich häufig nicht durch Verkalkungen bemerkbar. Stattdessen sind sie von vielen kleinen Blutgefäßen durchzogen, in denen sich das bei der MRT gespritzte Kontrastmittel besonders gut anreichert.

► Trotz der aktuellen Studienergebnisse hält Christiane Kuhl die Mammographie als Basis-Untersuchung zur Brustkrebs-Früherkennung für „unverzichtbar“.



Foto: Johann Saba, UKB

talen Karzinom oder DCIS (ductales carcinoma in-situ). In diesem Stadium handelt es sich noch um eine gutartige Erkrankung, die durch eine Operation immer heilbar ist. Erst wenn der Tumor aus den Milchgängen in das Drüsengewebe der Brust einwächst, kann er sich über Blut- oder Lymphgefäße im Körper verteilen. „Wenn wir DCIS finden und operativ entfernen, können wir die Entstehung von ‚richtigem‘ Brustkrebs verhindern“, erklärt die Bonner Radiologin Professor Dr. Christiane Kuhl. „Wir vermeiden damit die Entstehung einer oftmals lebensgefährlichen Erkrankung.“

Allerdings gibt es unterschiedliche Formen intra-duktales Karzinome: Das weniger aggressive (low-grade) und das hoch aggressive

(high-grade) DCIS. Während low-grade DCIS sich oft noch relativ gutartig verhalten, manchmal sogar den Milchgang nie verlassen und damit den Frauen möglicherweise nie ge-

Mammographie galt bisher als der „Goldstandard“

Dass die MRT der Mammographie hinsichtlich der Diagnostik von Brustkrebs überlegen ist, ist schon lange bekannt. Die Suche nach DCIS galt aber bislang als Domäne der Mammographie. Sie macht kleine Verkalkungen sichtbar, die sich in den erkrankten Milchgängen ablagern. Im MRT-Bild sind derartige Einlagerungen unsichtbar. Daher galt die Methode bislang als ungeeignet, um intra-duktales Karzinome aufzuspüren – was einer der

„Unsere Studie räumt mit einer ganzen Reihe von Lehrbuchmeinungen auf“, resümiert Professor Kuhl. „Erstens wurde immer behauptet, die MRT sei nicht geeignet, Brustkrebs-Vorstufen in den Milchgängen zu finden. Wie unsere Ergebnisse zeigen, ist das Gegenteil richtig: Die MRT ist bei weitem empfindlicher als die Mammographie.“ Das zweite Vorurteil: Die MRT führe zu oft zu „falsch positiven“ Befunden, schlage also zu häufig „falschen Alarm“. „Bei unseren Patientinnen war dies mit der MRT sogar seltener der Fall als mit der Mammographie“, betont Kuhl. „Der positive prädiktive Wert der MRT lag bei 59 Prozent gegenüber 55 Prozent für die Mammographie.“ Der dritte Punkt: Bislang wurde angenommen, dass die MRT zur Früherkennung nur für Frauen mit erhöhtem Brustkrebs-Risiko notwendig

sei. Viele der Teilnehmerinnen hatten sich aber im Rahmen ihrer ganz normalen Krebsvorsorge an der Studie beteiligt. Die MRT, so das Bonner Fazit, kann die Diagnose von Brustkrebs-Frühestadien erheblich verbessern – und zwar nicht nur bei Risikogruppen, sondern bei allen Frauen.

Allerdings möchte Professor Kuhl die Bonner Ergebnisse nicht als Argument gegen das laufen-

de Mammographie-Screening verstanden wissen. „Die Mammographie ist als Basis-Untersuchung zur Früherkennung unverzichtbar.“ Die MRT sei für den Einsatz zur flächendeckenden Früherkennung zudem noch nicht reif. „Noch wird diese Methode bei Brustuntersuchungen viel zu selten eingesetzt – entsprechend fehlt es an Radiologen, die mit dieser speziellen Anwendung ausreichend Erfahrung

sammeln konnten“, bedauert die Medizinerin. „Um die Aufnahmen auszuwerten, braucht man einen geschulten Blick. Denn nicht der Magnet stellt die Diagnosen, sondern der Radiologe. Um Brustkrebs-Vorstufen in der MRT zu finden, müssen die Aufnahmen nach speziellen Gesichtspunkten beurteilt werden – das ist leider immer noch viel zu wenig bekannt.“

FL/FORSCH

...Professor Dr. Waldemar Kolanus, Immun- und Zellbiologe

1. Herr Professor Kolanus, die Pocken gelten als besiegt; als nächstes großes Ziel hat sich die Weltgesundheitsorganisation WHO die Ausrottung der Masern vorgenommen. Sehen wir einer Zukunft mit immer weniger Krankheiten entgegen?

Dass durch Fortschritte in Medizin und Hygiene – also durch die Wissenschaft – Krankheiten zurückgedrängt werden, passiert ständig. Allerdings wird es wahrscheinlich kaum möglich sein, Infektionserkrankungen für immer zu besiegen. Ein amerikanischer Gesundheitsminister hatte in der Euphorie des Sieges gegen die Pocken bereits das Ende großer Epidemien vorhergesagt – und dann kam AIDS. Die mikrobielle Welt ist und bleibt sehr einfallreich, auch wenn wir sie immer besser verstehen.

2. Allergien sind dagegen in den Industrieländern auf dem Vormarsch. Woher kommt es, dass das Immunsystem bei immer mehr Menschen entgleist?

Die knappe Antwort ist: Wir wissen es nicht. Die Entstehung von Allergien ist anscheinend multifaktoriell bedingt. Interessanterweise hat sich durch epidemiologische Untersuchungen ergeben, dass Umweltgifte und Luftverschmutzung keine große Rolle dabei spielen, sondern dass im Gegenteil übermäßige Hygiene beim Umgang mit Kleinkindern ein auslösender Faktor solcher hypersensitivitäten sein könnte. Bewiesen ist das allerdings noch nicht im Detail. Die Grundlagenforschung konzentriert sich auf die Aufdeckung molekularer Ursachen von Allergien in unserem Immunsystem.

3. Seit Jahren wurde in Deutschland keine Diphtherie-Erkrankung mehr registriert; mit der Kinderlähmung sieht es ähnlich aus. Verstehen Sie, dass Eltern Ihre Kinder gegen viele Krankheiten nicht mehr impfen lassen möchten?

Nein. Impfung ist ein sicherer Schutz, selbstverständlich gibt es manchmal auch Unverträglichkeiten. Krankheiten, gegen die geimpft wird, sind allesamt sehr gefährlich. Masern können tödlich verlaufen oder die Gesundheit dauerhaft schädigen. Da nützt es dem betroffenen Individuum nichts, wenn ein tragischer Fall in unseren Breiten (noch) selten ist. Bei Krankheitserregern, deren Verbreitung wir nicht genau verstehen, wird das Lockern der Impfdisziplin mit hoher Wahrscheinlichkeit wieder zu einem Anstieg der Fallhäufigkeit führen.

4. Man hört immer wieder, die Psyche habe einen großen Einfluss auf die Schlagkraft des Immunsystems. Manche Menschen seien allein aufgrund ihres Naturells anfälliger für bestimmte Krankheiten – Stichwort „Krebspersönlichkeit“. Stimmt das?

Vielleicht stimmt das, aber wir wissen sehr wenig darüber, und leider ist dies aus vielen Gründen nicht leicht zu erforschen. Daher würde ich diese Behauptung ganz einfach wissenschaftlich sehen, und das heißt: skeptisch.

5. Sie erforschen die molekularen Mechanismen unserer Immunabwehr. Können Sie über das, was Sie herausfinden, noch staunen?

Entgegen vieler landläufiger Annahmen ist Wissenschaft nicht einfach akribisches Vermessen und Datensammeln, bis man zu einem definierten Ziel kommt, das dann ganz neutral und emotionslos hingenommen werden kann. Wissenschaft ist darüber hinaus und vielmehr der permanente Wettstreit von Ideen und Konzepten. Es dauert meist immens lange, bis man der Natur auch nur ein kleines Geheimnis wirklich abgerungen hat. Wer dann darüber nicht mehr staunen könnte, der täte wohl längst etwas anderes. Wissenschaftler müssen gleichzeitig sehr unbestechlich und sehr leidenschaftlich sein. Das ist nicht immer leicht.



Foto: fl

Cholesterin-Pumpe auf Hochtouren

Forscherteam entdeckt Gallenstein-Gen

Bonner Wissenschaftler haben zusammen mit Kollegen aus Rumänien eine Genvariante entdeckt, die das Risiko für Gallensteine deutlich erhöht. Jeder zehnte Europäer trägt nach Schätzungen diese Variante in seinen Erbanlagen. Bei den Betroffenen entwickelt sich im Laufe des Lebens zwei- bis dreimal so häufig ein Gallenstein.

Gallensteine sind ein Volksleiden: In Deutschland werden jährlich über 170.000 Gallenblasenoperationen durchgeführt. Die Erkrankung tritt familiär gehäuft auf. Insbesondere Zwillingsstudien sprechen für eine genetische Komponente, die das Risiko erhöht. „Wir gehen davon aus, dass das Leiden zu 70 bis 80 Prozent durch Umwelteinflüsse wie eine falsche Ernährung verursacht wird“, erklärt Professor Dr. Frank Lammert

von der Medizinischen Klinik I. „Der Rest ist eine Frage der Gene.“

Lammert hat zusammen mit seinen Kollegen Dr. Frank Grünhage, Maja Walier und Professor Dr. Thomas Wienker sowie Wissenschaftlern der Universitätsklinik Cluj-Napoca in Rumänien nach den beteiligten Erbanlagen gefahndet – mit Erfolg: 178 Frauen und Männer aus 84 Familien nahmen an der Studie teil. Alle litten unter Gallensteinen. In 21,4 Prozent der Fälle waren die Betroffenen Träger einer bestimmten Genvariante. In gesunden Vergleichspersonen kam diese Variante zwar auch vor, allerdings nur mit einer Häufigkeit von 8,6 Prozent.

„Die Mutation betrifft das so genannte ABCG8-Gen“, erklärt Dr. Grünhage. „Es enthält die Bauanleitung für eine Pumpe, die das Blutfett

Cholesterin aus der Leber in die Gallenwege befördert.“ Die meisten Gallensteine bestehen zu einem hohen Prozentsatz aus auskristallisiertem Cholesterin. „Die Veränderung sorgt wahrscheinlich dafür, dass die Pumpe permanent auf Hochtouren läuft“, vermutet der Mediziner.

Die Forscher hoffen nun, dass ihr Fund auch Auswirkungen auf Prävention und Therapie hat: „Möglicherweise kann man bestimmten Patienten zukünftig mit Medikamenten helfen und damit eine Operation verhindern“, hofft Lammert. Der genetische Beitrag zum Volksleiden „Gallensteine“ ist mit dem Fund übrigens noch nicht komplett geklärt: „Wir rechnen noch mit mindestens drei oder vier weiteren Genvarianten, die das Gallenstein-Risiko erhöhen.“

FL/FORSCH

ALG II reicht nicht für gesunde Ernährung

Forschungsinstitut legt umfangreiche Studie vor

Das Arbeitslosengeld (ALG) II reicht nicht aus, um Kinder und Jugendliche ausgewogen zu ernähren. Zu diesem Schluss kommt das Forschungsinstitut für Kinderernährung (FKE) der Universität Bonn in einer umfangreichen Studie. Demnach veranschlagt der Gesetzgeber für Nahrung und Getränke bei 14- bis 18-Jährigen lediglich 3,42 Euro pro Tag. Selbst wer nur beim Discounter kauft, muss jedoch im Schnitt 4,68 Euro täglich hinblättern, um den Appetit eines Teenagers mit ausgewogener Kost zu stillen. Das FKE empfiehlt, das Arbeitslosengeld entsprechend anzupassen. Kinder und Jugendliche aus niedrigen sozialen Schichten leiden heute zwei- bis dreimal so häufig unter Fettleibigkeit wie besser situierte Altersgenossen.

Zur Sicherung des Lebensunterhalts steht Empfängern von Arbeitslosengeld II heute ein Betrag von 347 Euro pro Monat zur Verfügung. Für Kinder gibt es pauschal 60 Prozent dieses Regelsatzes, für Jugendliche 80 Prozent. „Rund ein Drittel dieser Summe veranschlagt der Gesetzgeber für Nahrung und Getränke“, erklärt Dr. Mathilde Kersting, stellvertretende Leiterin des FKE. „Das sind gerade mal 2,57

Euro täglich für Kinder und 3,42 Euro für Jugendliche ab 14 Jahren. Damit lässt sich nach unseren Erkenntnissen eine ausgewogene Ernährung nicht realisieren.“

Die FKE-Forscher haben im März 2004 in Dortmund die Preise von mehr als 80 Lebensmitteln erhoben, die für die gesunde Ernährung benötigt werden. Die Testkäufe erfolgten in Supermärkten, bei Discountern sowie in einem Bioladen. Anhand

dieser Daten berechneten die Wissenschaftler nach Altersgruppen gestaffelt die Kosten für die so genannte „Optimierte Mischkost“. Dabei handelt es sich um ein vom FKE entwickeltes Konzept, das eine gesunde Ernährung für Kinder und Jugendliche zu vergleichsweise günstigen Preisen gewährleisten soll.

„Für vier- bis sechsjährige Kinder reichen die veranschlagten 2,57 Euro gerade aus – allerdings auch nur, wenn die Lebensmittel beim Discounter gekauft werden“, fasst Mathilde Kersting die Ergebnisse zusammen. Mit zunehmendem Alter klafft die finanzielle Lücke immer weiter auseinander: So verzehrt ein Fünfzehnjähriger, der sich ausgewogen ernähren möchte, im Schnitt Lebensmittel im Wert von 4,68 Euro täglich (Discounter) bzw. 7,44 Euro (Supermarkt).

FL/FORSCH