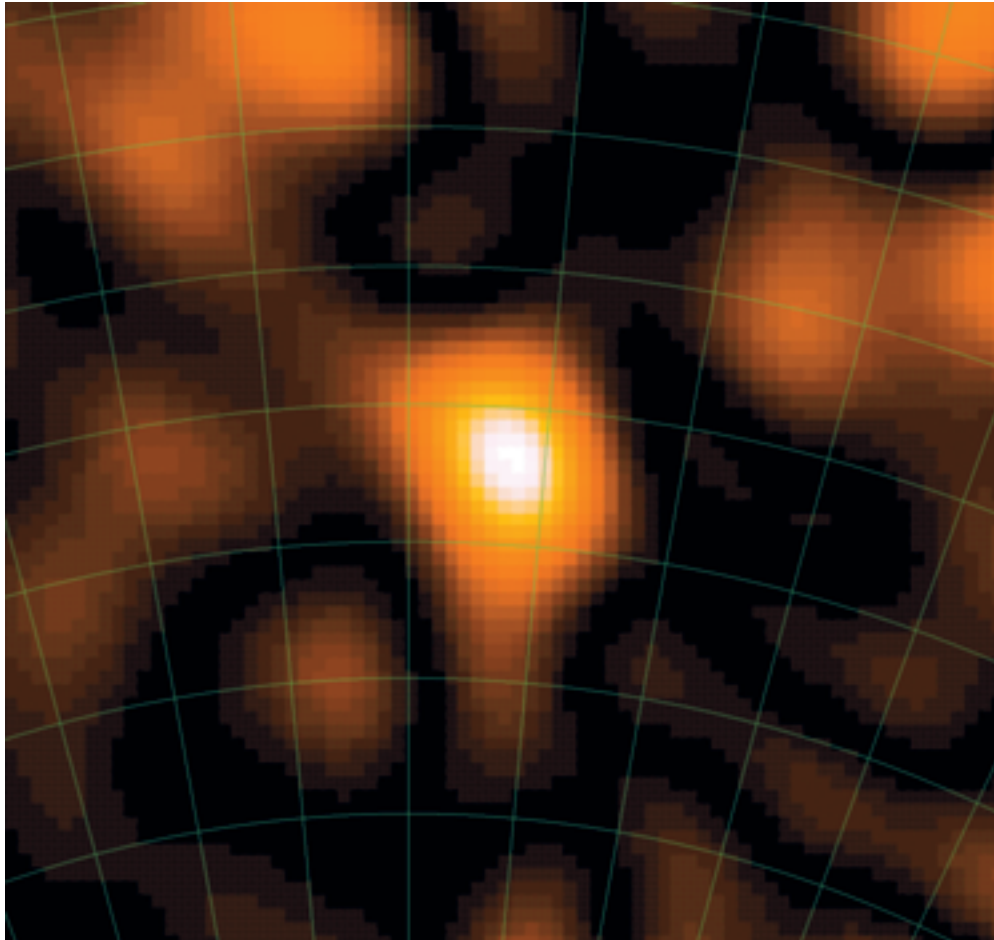




# FORSCHUNG aktuell



**Volltreffer:** Der helle Fleck in der Mitte zeigt einen Radioblitz, nachdem das LOPES-Experiment ein Partikel der kosmischen Strahlung erfasst hat. Die hierzu gehörige Filmsequenz verläuft über 100 Nanosekunden, in denen der Radioblitz für etwa 30 Nanosekunden aufscheint.

## ASTRONOMIE

### Kosmische Teilchen schlagen Funken

Hätte der Mensch Augen für Radiostrahlung, würde er beim Blick in den Himmel von Zeit zu Zeit geblendet: durch Blitze, die zwar unheimlich kurz dauern, doch auf der vierfachen Fläche des Vollmonds etwa 1000-fach heller aufleuchten als die Sonne. Diese Radioblitze zeugen vom Zusammenprall extrem energiereicher Partikel der kosmischen Strahlung

mit Atomen und Molekülen der Erdatmosphäre. Sie stammen von den Schauern subatomarer Trümmerteilchen aus Materie und Antimaterie, die bei solchen Kollisionen entstehen. Nachgewiesen wurden diese Blitze kürzlich von einem internationalen Team, darunter Astrophysiker des Bonner Max-Planck-Instituts für Radioastronomie. (NATURE, 19. Mai 2005)

Die Wissenschaftler benutzten für ihre Entdeckung eine Batterie von Radioantennen und das große Feld von Teilchendetektoren des KASCADE-Grand-Experiments am Forschungszentrum Karlsruhe. Beide Detektorfelder wurden parallel betrieben. Auf diese Weise ließ sich jedes Mal, wenn ein hochenergetisches Teilchen der kosmischen Strahlung auf die Erdatmosphäre traf, ein Radiosig-

**Kosmische Teilchenfalle:** Das pyramidenförmige Gebilde im Vordergrund gehört zum LOPES-Experiment, einem großen Feld von Radioantennen und Teilchendetektoren am Forschungszentrum Karlsruhe.



Foto: LOPES KOLLABORATION

nal nachweisen. Mit Bildverarbeitungsprogrammen aus der Radioastronomie erstellten die Forscher außerdem digitale Filmsequenzen von diesen Ereignissen.

Die Stärke des ausgestrahlten Radiosignals ist direkt proportional zur Energie der kosmischen Strahlung. „Es erstaunt schon, dass wir mit einfachen Antennen direkt die Energie von Elementarteilchen aus dem Kosmos messen können“, sagt LOPES-Sprecher Heino Falcke von der Netherlands Foundation for Research in Astronomy (ASTRON). „Wenn wir empfindliche Radioaugen hätten, könnten wir den Himmel mit Radioblitzen funkeln sehen.“

Einige der aufgezeichneten Radioblitze müssten in der Tat stark genug sein, um den konventionellen Radio- und Fernsehempfang für einen kurzen Zeitraum zu überstrahlen. Um diesen Effekt zu verdeutlichen, haben die Forscher das Signal der kosmischen Strahlung in ein Tondokument umgewandelt. Da jedoch die Radioblitze aus dem All nur jeweils 20 bis 30 Nanosekunden (milliardstel Sekunden) dauern, und weil die stärksten Ereignisse dieser Art im Mittel nur einmal pro Tag stattfinden, dürften sie sich kaum auf unseren Alltag auswirken.

Das Experiment hat außerdem gezeigt, dass die Intensität der Radiostrahlung von der jeweiligen Ausrichtung des Magnetfelds der Erde abhängt. Dieses Ergebnis und auch andere Resultate der Messungen bestätigen die Vorhersagen frühe-

rer theoretischer Rechnungen von Heino Falcke und seinem Doktoranden Tim Huege sowie von Peter Gorham, Universität Hawaii.

Energiereiche Teilchen der kosmischen Strahlung bombardieren die Erdatmosphäre und verursachen dort winzige Explosionen von Elementarteilchen – die ihrerseits einen Strahl von Materie- und Antimaterieteilchen bilden. Das geomagnetische Feld lenkt die leichtesten der geladenen Partikel (Elektronen und Positronen) ab, und dabei entsteht Radiostrahlung. Es ist der gleiche Mechanismus wie bei der mit Teilchenbeschleunigern in irdischen Labors erzeugten Synchrotronstrahlung. Analog dazu sprechen Astrophysiker von Geosynchrotronstrahlung und betonen so die Wechselwirkung mit dem Magnetfeld der Erde.

LOPES steht für LOFAR Prototyp Experimental Station. Die Anlage arbeitet mit Prototyp-Antennen des demnächst größten Radioteleskops der Erde (LOFAR). Vom Jahr 2006 an wird das Teleskop in den Niederlanden und, dort angrenzend, in Deutschland errichtet werden. Die LOPES-Empfänger sind einfache Antennenpaare – ganz ähnlich denen, die in gewöhnlichen Radioempfängern zum Einsatz kommen. „Der Hauptunterschied zu normalen Radios liegt in der digitalen Elektronik und in den breitbandigen Empfängern, die es uns ermöglichen, eine Vielzahl unterschiedlicher

Frequenzen gleichzeitig aufzunehmen“, sagt Andreas Horneffer, Doktorand der International Max Planck Research School for Radio and Infrared Astronomy an der Universität Bonn. Horneffer hat die Antennen als Teil seines Promotionsprojekts gebaut.

Die LOPES-Antennen sind in das KASCADE-Grande-Experiment zum Nachweis von Luftschauern der kosmischen Strahlung integriert. „Das zeigt den Vorteil eines größeren Experiments der Astroteilchenphysik in unserer direkten Nachbarschaft. Es gibt uns die Flexibilität, auch ungewöhnliche Ideen wie diese zu erforschen“, sagt Andreas Haungs, Sprecher des KASCADE-Grande-Experiments. Und Harvey Butcher, Direktor der Netherlands Foundation for Research in Astronomy in Dwingeloo, ergänzt: „LOPES nimmt erste größere wissenschaftliche Ergebnisse des LOFAR-Projekts bereits in der Entwicklungsphase vorweg. Das stimmt uns zuversichtlich, dass LOFAR in der Tat so revolutionär herauskommen wird, wie wir uns das erhofft haben.“

LOFAR verbindet ein komplett neuartiges Design mit einer Vielzahl von billigen Niederfrequenzantennen, die Radiosignale aus jeder Richtung des Himmels gleichzeitig aufnehmen können. Die einzelnen Stationen sind über ein Hochgeschwindigkeits-Internet verbunden, und mittels eines Supercomputers können ungewöhnliche Signale entdeckt und Radiobilder ausgedehnter Regionen des Himmels erstellt werden, ohne auch nur ein mechanisches Teil zu bewegen. „Es bedeutet in der Tat eine ungewöhnliche Kombination, wenn Kernphysiker und Radioastronomen zusammenarbeiten, um ein einzigartiges Experiment der Astroteilchenphysik auf die Beine zu stellen“, sagt Anton Zensus, leitender Direktor am Bonner Max-Planck-Institut für Radioastronomie.



**© Weitere Informationen erhalten Sie von:**  
**PROF. DR. HEINO FALCKE**  
 Max-Planck-Institut für Radioastronomie, Bonn  
 ASTRON, Dwingeloo, Niederlande  
 Tel.: +31 651 433-474  
 Fax: +31 521 595-332  
 E-Mail: falcke@astron.nl

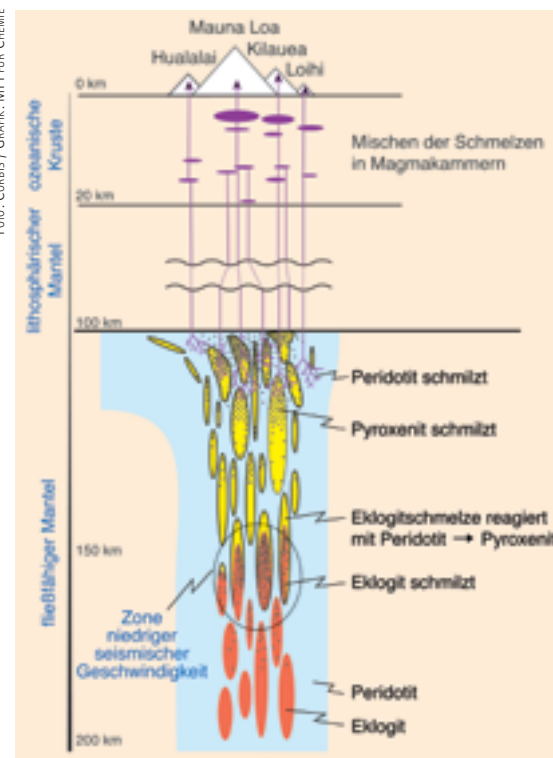
**DR. ANDREAS HAUNGS**  
 Institut für Kernphysik, Forschungszentrum Karlsruhe  
 Tel.: +49 174 3010601  
 Fax: +49 7247 82-3321  
 E-Mail: Andreas.Haungs@ik.fzk.de

**GEOCHEMIE**

**Vulkane ziehen Fäden**

Seit mehreren Jahren bohrt ein internationales Konsortium von Geowissenschaftlern immer tiefer in den Vulkan Mauna Kea auf Hawaii. Jetzt entdeckten Forscher des Max-Planck-Instituts für Chemie in Mainz durch hochpräzise Messungen an Blei-Isotopen, die in Jahrmillionen über radioaktiven Zerfall entstanden sind, dass der Gesteinsstrom aus der Tiefe des Erdmantels (Mantelplume) aus vertikal lang gestreckten Fäden unterschiedlicher isotopischer Zusammensetzung besteht. Die Wissenschaftler entwickelten außerdem ein Modell der Schmelzbildung im Erdmantel,

Foto: CORBIS / Grafik: MPI für Chemie



Die Vulkane auf Hawaii produzieren enorme Mengen an Magma. Das von Max-Planck-Wissenschaftlern entworfene Modell erklärt diese hohe Rate: Im aufsteigenden Mantelplume eingelagerte Linsen aus recycelter Ozeankruste (Eklogit) schmelzen bereits in etwa 170 Kilometer Tiefe. Diese Schmelze reagiert mit nickelreichem Peridotit und wandelt das Mineral Olivin des umgebenden Mantelgesteins in Pyroxen um. Das so entstandene Gestein schmilzt während des weiteren Aufsteigens des Plumes wesentlich besser als das ursprüngliche, olivinreiche Mantelgestein – wodurch die Magmaproduktion stark ansteigt.

das die außergewöhnlich hohe Magmaproduktion der Hawaii-Vulkane erklärt. (NATURE, 31. März und 14. April 2005)

„Unsere Beobachtungen deuten darauf hin, dass der Mantelplume des Mauna Kea aus vertikal lang gestreckten Fäden besteht, die einen Durchmesser von deutlich weniger als 50 Kilometern und eine Länge von mehreren hundert Kilometern haben“, erklärt Wafa Abouchami vom Max-Planck-Institut für Chemie. „Der Plume gleicht also etwa einer Zahnpasta der Marke Signal.“

Das widerlegt die konventionelle Theorie, wonach solche Gesteinssäulen eine baumring-ähnliche, konzentrische Struktur haben. Denn wenn ein heißer Mantelplume aus der Tiefe der Erde aufsteigt, erwartet man, dass das umgebende Gestein langsam aufgeheizt und allmählich mit nach oben genommen wird. Dadurch sollte der Plume eine chemisch konzentrische Struktur erhalten, vergleichbar etwa mit Baumringen.

Die Max-Planck-Forscher stießen jedoch auf zwei neue Sachverhalte. Zum einen zeigen die Laven wie erwartet im tiefen Teil des Bohrlochs in der Tat andere Blei-Isotopenverhältnisse als im oberen Teil – aber sie decken sich mit den Isotopendaten des jüngeren Vulkans Kilauea, der heute fast genau an dem Ort über dem Plume steht, an dem der Mauna Kea sich vor 500 000 Jahren befand. Der Plume produziert also ortsgenau isotopisch identische Laven über einen Zeitraum von einer halben Million Jahren, während sich über ihm die Erdkruste mit den Feuerbergen weiter bewegt hat.

Zum anderen stellten die Wissenschaftler fest, dass fast alle Laven der Vulkane, die sich auf der nordöstlichen Seite der Insel Hawaii befinden – Kilauea, Mauna Kea und Kohala –

niedrigere Blei-Isotopenverhältnisse aufweisen als die Vulkane auf der südwestlichen Seite des Plumes (Loihi, Mauna Loa, Kahoolawe, Lanai und Koholau). Daraus folgerten die Forscher, dass zwei Vulkane, die im Laufe ihrer Geschichte über demselben Faden zu liegen kommen, chemisch identische Laven produzieren. Die zweite Beobachtung zeigt, dass die vertikalen Fäden auf der südwestlichen Seite des Plumes eine insgesamt andere Zusammensetzung haben als die auf der nordöstlichen. Das heißt: Von konzentrischen Baumringen ist nichts zu sehen.

Unterdessen hat eine zweite Arbeitsgruppe des Mainzer Max-Planck-Instituts den Mauna Loa, den größten Vulkan Hawaiis, unter die Lupe genommen. Bei Untersuchungen des Nickelgehalts von Lavaproben hat das Team festgestellt, dass sich diese Lava überwiegend ohne Olivin, dem häufigsten Mineral des Erdmantels, bildet. Die Forscher entwickelten deshalb ein neues Modell der Schmelzbildung, mit dem sich nun auch die enorme Magmaproduktion des Mantelplumes dieser Vulkane erklären lässt.

Die in dem aufsteigenden Mantelplume eingelagerten Linsen aus recycelter Ozeankruste beginnen infolge ihres relativ niedrigen Schmelzpunkts bereits in etwa 170 Kilometer Tiefe zu schmelzen. Diese Schmelze wandelt das Mineral Olivin des umgebenden Mantelgesteins in ein anderes Silikatmineral (Pyroxen) um. Das so entstandene Pyroxengestein schmilzt während des weiteren Aufsteigens des Plumes wesentlich besser als das ursprüngliche, olivinreiche Mantelgestein. Dadurch steigt die Magmaproduktion des Mauna Loa so stark an. Bestände der Plume unter dem Mauna Loa nur aus normalem, olivinreichem Mantelgestein, so würde das Schmelzvolumen gerade einmal für einen Feuerberg genügen, der knapp über den Meeresboden reicht.



**© Weitere Informationen erhalten Sie von:**  
**PROF. DR. ALBRECHT W. HOFMANN**  
 Max-Planck-Institut für Chemie, Mainz  
 Tel.: +49 6131 305-281  
 Fax: +49 6131 305-388  
 E-Mail: hofmann@mpch-mainz.mpg.de

**PROF. DR. ALEXANDER V. SOBOLLEV**  
 Max-Planck-Institut für Chemie, Mainz  
 Tel.: +49 6131 305-275  
 Fax: +49 6131 305-388  
 E-Mail: asobolev@mpch-mainz.mpg.de

**DR. Wafa ABOUCHAMI**  
 Max-Planck-Institut für Chemie, Mainz  
 Tel.: +49 6131 305-260  
 Fax : +49 6131 305-388  
 E-Mail: wafa@mpch-mainz.mpg.de

LIMNOLOGIE

## Immunduft macht attraktiv

Der Geruch entscheidet über die Partnerwahl: Über ihn erkennen Maus- oder Fischweibchen die Immungene eines möglichen Partners. So bevorzugt ein Stichlingsweibchen das Männchen, dessen Immungene mit ihren eigenen dem Nachwuchs die optimale Abwehr gegen Krankheitserreger bieten. Wissenschaftler der Max-Planck-Institute für Limnologie in Plön und für Immunbiologie in Freiburg haben nachgewiesen, dass man mit kleinen Eiweißbruchstücken, die eine Blaupause von Immungenen darstellen, die Attraktivität eines Stichlingsmännchens für ein Weibchen manipulieren kann. (PNAS ONLINE, 8. März 2005)

Eine ungeheure Anzahl sich ständig ändernder Krankheitserreger zwingt die meisten Tiere, ihre Immungene von Generation zu Generation immer wieder neu zu mischen. Bei den meisten Wirbeltieren können die T-Zellen des Immunsystems Erreger nur dann wirksam bekämpfen, wenn ihnen körpereigene, so genannte MHC-Moleküle von den Erregern stammende Eiweißbruchstücke (Peptide) präsentieren. Es bedarf verschiedener MHC-Moleküle, damit das Immunsystem unterschiedliche Krankheitserreger erkennen und bekämpfen kann. Jede Wirbeltierpopulation verfügt über Hunderte von MHC-Molekülen, doch jeder Mensch – wie auch jeder Stichling – trägt nur wenige dieser Markenzeichen, die sich von Individuum zu Individuum unterscheiden. Diese Vielgestaltigkeit bietet Weibchen eine große Entscheidungsfreiheit bei der Partnerwahl – vorausgesetzt, dass sie die jeweilige Immunausstattung erkennen. Dies geschieht über den Geruchssinn: Stichlingsweibchen paaren sich

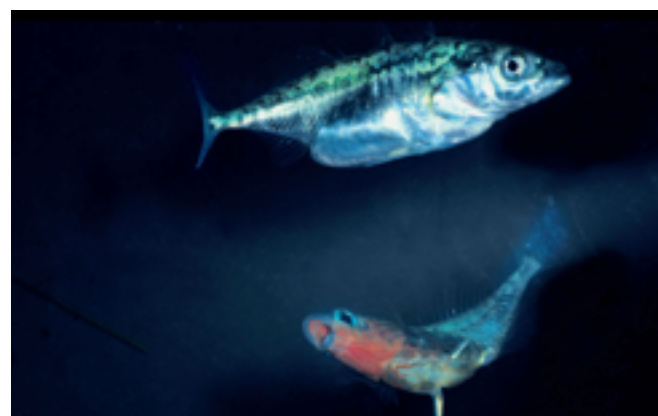


FOTO: MPI FÜR LIMNOLOGIE

immer mit den Partnern, die ein immungenetisches Optimum garantieren. Das haben die Plöner Limnologen bereits vor einigen Jahren nachgewiesen.

Doch worin besteht nun das Duftpaket, mit dem Männchen ihre MHC-Individualität signalisieren? Wenn Lebewesen bestimmte MHC-Moleküle benötigen, um Peptide aus der Zelle nach außen zu transportieren, dann müsste das Spektrum dieser Peptide die MHC-Molekülausstattung des Männchens und damit dessen genetische Ausstattung widerspiegeln, vermuteten die Wissenschaftler. Die ausgeschiedenen Peptide könnten das Parfüm sein, auf das die Weibchen ansprechen.

Im Experiment versuchten nun die Evolutionsökologen, dieses natürliche Parfüm durch das Hinzufügen verschiedener Peptide zu manipulieren. „Entscheidend, ob ein Weibchen auf ein Männchen positiv reagiert, ist die Kombination der MHC-Moleküle des Pärchens, nicht des einzelnen Individuums“, sagt Manfred Milinski, Direktor am Max-Planck-Institut für Limnologie.

Stichlingsmännchen, die durch ihre für das Weibchen nicht optimale und damit unattraktive MHC-Kombination keinen Eindruck hinterließen, versahen die Wissenschaftler nun mit zusätzlichen synthetischen Peptiden, um sie attraktiver zu ma-

chen. Auf der anderen Seite sollte der Duft eines attraktiven Männchens, das schon optimal ausgerüstet ist, durch Hinzufügen derselben Peptidmischung abstoßend wirken.

Um ihre Vermutung zu testen, ließen die Forscher ein laichberechtigtes Stichlingsweibchen in einem Strömungskanal zwischen zwei parallelen Wasserläufen wählen, ohne dass das Tier den männlichen Partner sehen konnte. In dem einen Zulauf wurde das aus dem Aquarium des Männchens stammende Wasser mit einer Peptidmischung versetzt; der andere Zulauf blieb frei von Peptiden. Der Vorhersage entsprechend entschied sich das Weibchen für jenen Kanal, in dem es die für sich optimale Peptidmischung wahrgenommen hatte.

Ähnlich wie Stichlinge reagieren auch Mäuse auf dieselben immungenetischen Signalmoleküle. „Wir können also annehmen, dass dieses Signalsystem bei allen Wirbeltieren, den Menschen eingeschlossen, ähnlich wirkt“, meint Thomas Boehm, Direktor am Max-Planck-Institut für Immunbiologie in Freiburg. „Welche Rolle dabei Parfüms spielen, die von Menschen schon seit Tausenden von Jahren verwendet werden und deren individuelle Auswahl von den eigenen MHC-Genen abhängt, wird uns noch beschäftigen“, ergänzt Manfred Milinski. ●

Ein Stichlingsmännchen umtanzt ein laichberechtigtes Weibchen und hüllt es in eine Duftwolke ein.

④ Weitere Informationen erhalten Sie von: PROF. DR. MANFRED MILINSKI Max-Planck-Institut für Limnologie, Plön Tel.: +49 4522 763-254 Fax: +49 4522 763-310 E-Mail: milinski@mpil-ploen.mpg.de

PROF. DR. THOMAS BOEHM Max-Planck Institut für Immunbiologie, Freiburg Tel.: +49 761 5108-329 Fax: +49 761 5108-323 E-Mail: boehm@immunbio.mpg.de

MIKROSTRUKTURPHYSIK

## Fata Morgana im Quantenkäfig

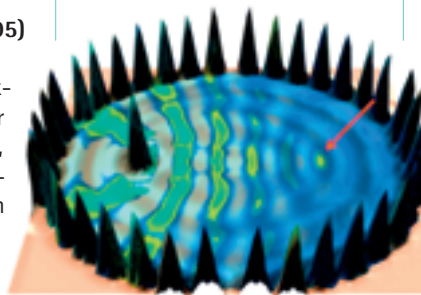
Anhand von Computerberechnungen haben Wissenschaftler des Max-Planck-Instituts für Mikrostrukturphysik und der Martin-Luther-Universität in Halle entschlüsselt, wie sich magnetische Atome innerhalb elliptischer Quantenkäfige wechselseitig beeinflussen. Dabei fanden sie, dass sich die Kopplung der magnetischen Momente dieser Atome gezielt parallel oder entgegengesetzt einstellen lässt. Theoretisch – und eines Tages wohl auch praktisch – kann man nach diesem Prinzip binäre Datenspeicher in atomaren Dimensionen konstruieren, deren Kapazität heutige PC-Festplatten um das Millionenfache übertrifft. (PHYSICAL REVIEW LETTERS, 11. Mai 2005)

Mit einem Rastertunnelmikroskop lassen sich auf einer Metalloberfläche einzelne, locker angelagerte (adsorbierte) Atome zu Systemen mit nahezu beliebiger Form anordnen. „Diese Strategie bietet phantastische Möglichkeiten, einzelne Atome, deren Wechselwirkungen und Dynamik zu manipulieren“, erklären die Wissenschaftler des Max-Planck-Instituts für Mikrostrukturphysik. „Anders als in makroskopischen Anordnungen geht es in atomaren Dimensionen um andere Kräfte und Wechselwirkungen – um Quanteneffekte.“ So etwa um den Spin von Elektronen, der klassisch dem Eigendrehimpuls gleichkommt, sich aber als Effekt der relativistischen Quantenmechanik nur auf atomarer Ebene quantitativ erfassen und verstehen lässt.

Ein Beispiel dafür liefert die „Nano-Flüstergalerie“, die Hari C. Manoharan, Christopher P. Lutz und Don Eigler vom Almaden Research Center in San

Jose, Kalifornien, erstmals verwirklicht haben: Aus 36 sorgfältig angeordneten Kobaltatomen konstruierten die US-Physiker einen elliptischen Quantenkäfig auf einer kristallinen Kupferoberfläche. Als sie dann zusätzlich in den einen Brennpunkt ein einzelnes magnetisches Kobaltatom setzten, erlebten die Wissenschaftler eine Überraschung: Auch im zweiten Brennpunkt zeigte sich ein deutliches Signal – obwohl dieser Platz leer war.

Diese Fata Morgana verschwand, wenn ein nichtmagnetisches Kobaltatom verwendet wurde, und ebenso, wenn das einzelne Kobaltatom neben dem Brennpunkt platziert war. Theoretische Untersuchungen begründeten dieses Phänomen



pauschal mit resonanter Streuung von Oberflächenelektronen am magnetischen Atom im Brennpunkt und an den Atomen der Käfigwand.

Ein detaillierteres Bild haben jetzt Forscher des Max-Planck-Instituts für Mikrostrukturphysik und der Martin-Luther-Universität in Halle gewonnen: Mittels erstmals ausgeführter *ab initio*-Rechnungen konnten sie die vielfältigen Wechselwirkungen innerhalb elliptischer Quantenkäfige quantitativ nachvollziehen und dabei unter anderem die elektronischen Zustände der einzelnen Atome und deren Einflüsse auf die Umgebung berechnen.

*Ab initio* bedeutet „von Anfang an“ und meint in diesem Fall: Allein aus den Grundglei-

chungen der Quantenmechanik sowie aus der chemischen Zusammensetzung des Systems werden das Zusammenspiel der einzelnen Atome und ihrer Elektronen und darüber auch deren lokale magnetische Eigenschaften berechnet. Das Ziel dieser höchst aufwändigen Rechnungen war, die magnetische Ausrichtung jedes einzelnen Atoms im Bereich des Quantenkäfigs rechnerisch erfassen und auch kontrolliert verändern zu können. Dieses magnetische Moment hängt von der Orientierung (den Spins) der Elektronen in den Atomhüllen ab, die sich nur in zwei entgegengesetzte Richtungen, nach oben oder unten, einstellen können. Und nur dann, wenn alle Elektronen eines Atoms gleichsinnig rotieren – man spricht von Spin-Polarisation –, wird ein Atom magnetisch.

Die *ab initio*-Rechnungen zeigten, dass sich magnetische Atome, die auf einer Unterlage aus kristallin geordneten Kupferatomen adsorbiert sitzen, wechselseitig in ihren Spin-

polarisationen beeinflussen. Dieser Einfluss hängt auf freier Kupferoberflächen umgekehrt proportional von der Distanz der beiden Atome ab. Er wird aber, und das ist das wesentliche Ergebnis der Rechnungen, durch einen elliptischen Quantenkäfig, der als eine Art atomarer Zaun um die beiden Atome in den Brennpunkten der Ellipse liegt, wesentlich verstärkt. Zudem lässt sich die magnetische Wechselwirkung zwischen den beiden adsorbierten magnetischen Atomen durch die Geometrie des Quantenkäfigs innerhalb weiter Grenzen modifizieren. Gut möglich also, dass sich künftig solche Nano-Flüstergalerien auch zur Datenverarbeitung nutzen lassen. ●

Ein elliptischer Zaun aus Kobaltatomen, adsorbiert auf einer kristallin geordneten Kupferfläche, liegt als Quantenkäfig um ein Kobaltatom in einem Brennpunkt der Ellipse: Die Spin-Polarisation dieses Atoms erzeugt im anderen Brennpunkt – markiert durch einen roten Pfeil – ein deutliches Polarisationssignal.

④ Weitere Informationen erhalten Sie von: DR. VALERI S. STEPANYUK MPI für Mikrostrukturphysik, Halle Tel.: +49 345 5582-537 Fax: +49 345 5582-765 E-Mail: stepanyuk@mpi-halle.de

PROF. DR. PATRICK BRUNO MPI für Mikrostrukturphysik, Halle Tel.: +49 345 5582-763 Fax: +49 345 5582-765 E-Mail: bruno@mpi-halle.de

EXPERIMENTELLE MEDIZIN

## Myelin baut auf Cholesterin

Cholesterin ist für Menschen und Tiere lebenswichtig. Es wird in allen Organen gebildet und findet sich überall im Körper – so auch in den Myelinmembranen, die als Isolierschicht um Nervenfasern liegen. Welche Funktion das Cholesterin in diesen Myelinmembranen erfüllt, haben Forscher des Göttinger Max-Planck-Instituts für experimentelle Medizin untersucht. An gentechnisch veränderten Mäusen konnten sie nachweisen, dass der Einbau von Cholesterin für die Bildung von Myelin und damit für die Funktion von Nervenfasern unentbehrlich ist. (NATURE NEUROSCIENCE, April 8, 2005)

Ein Drittel des lebenswichtigen Cholesterins nimmt der Mensch über die Nahrung auf, zwei Drittel hingegen werden im Körper gebildet. In Säugetieren enthält jede Membran eine spezifische Menge an Cholesterin – und davon hängen ihre physikalischen und biologischen Eigenschaften ab. Deshalb unterliegen Bildung und Verteilung von Cholesterin strikten Kontrollen.

„Zu wissen, wie Cholesterin in den verschiedenen Organen des Körpers wirkt und wie seine Selbstregulation im Organismus bewerkstelligt wird, ist eine essenzielle Frage bei der Suche nach Risikofaktoren für die Entstehung von Krankheiten, wie zum Beispiel Arteriosklerose“, sagt Gesine Saher vom Max-Planck-Institut für experimentelle Medizin. Ein gestörter Cholesterinstoffwechsel wird auch in Verbindung mit Schlaganfall und Morbus Alzheimer diskutiert.

„Das Gehirn stellt dabei einen Sonderfall dar. Es synthetisiert sein gesamtes Cholesterin eigenständig und ist somit vollkommen unabhängig vom Cholesterinstoffwechsel des übrigen

Körpers, also auch von der Nahrung“, erklärt Saher. Zudem sei das Gehirn das cholesterinreichste Organ des menschlichen Körpers. Im Gehirn ist Cholesterin in den Myelinhüllen der Nervenfasern besonders stark angereichert. Myelin wird im zentralen Nervensystem von einem speziellen Zelltyp hergestellt, von den so genannten Oligodendrozyten. Es entsteht vorwiegend während der ersten

Lebenswochen. „Das Myelin liegt als dicht gepackter Membranstapel um die Nervenfasern und bedingt so deren elektrische Isolation. Dies ermöglicht unter anderem eine effiziente Kontrolle der Körperhaltung, und das gewährleistet ebenso höhere Denkleistungen“, sagt die Max-Planck-Forscherin.



Querschnitte des Rückenmarks von Mäusen, bei denen Myelin braun angefärbt wurde. In jungen mutanten Mäusen (rechts oben) lässt sich nur sehr wenig Myelin nachweisen, während ältere Mutanten (rechts unten) erhebliche Mengen an Myelin gebildet haben. Links, zum Vergleich, normale Myelinmengen in der weißen Substanz von Kontroll-Geschwistertieren.

An gentechnisch veränderten Mäusen konnten die Göttinger Neurogenetiker nun nachweisen, dass der Einbau von Cholesterin für die Bildung der Myelinmembranen unentbehrlich ist. Bei den Versuchstieren war die Cholesterinsynthese in den Oligodendrozyten unterbunden – mit der Folge, dass das Myelin um die Nervenfasern fast vollständig fehlte. Das führte dazu, dass die mutanten Mäuse

ständig zitterten und Koordinationsstörungen aufwiesen und ein Drittel der Tiere sogar starb. Im Zug ihrer Studie stießen die Forscher auch auf einen vordem unbekanntem Mechanismus – auf eine Art Nachbarschaftshilfe zwischen Gehirnzellen. Denn die Oligodendrozyten, deren Cholesterinsynthese in den Mausmutanten ausgeschaltet war, bezogen offenbar von außen Cholesterin. „Diese Hilfe-

stellung“, so Gesine Saher, „leisteten andere Gehirnzellen, die wir nicht genetisch verändert hatten.“ Dabei wurden die gehandikapteten Oligodendrozyten am Ende sogar so reichlich mit Cholesterin versorgt, dass sich auch die Bildung von Myelin wieder normalisierte. Durch diese gehirninterne Umverteilung der Cholesterinproduktion konnten die Versuchstiere ihren schweren genetischen Defekt mit fortwährendem Alter ausgleichen und überwinden.

Angespornt durch diese ersten Befunde, hoffen die Göttinger Wissenschaftler, mittels ihrer mutanten Mäuse zu weiteren – und irgendwann auch klinisch verwertbaren – Einblicken in die Rolle des Cholesterins im Organismus zu gelangen.

FOTO: MPI FÜR EXPERIMENTELLE MEDIZIN / GESINE SAHER

**© Weitere Informationen erhalten Sie von:**  
**PROF. DR. KLAUS-ARMIN NAVE**  
 Max-Planck-Institut für experimentelle Medizin, Göttingen  
 Tel.: +49 551 3899-757  
 Fax: +49 551 3899-758  
 E-Mail: nave@em.mpg.de

**DR. GESINE SAHER**  
 Max-Planck-Institut für experimentelle Medizin, Göttingen  
 Tel.: +49 551 3899-751  
 Fax: +49 551 3899-753  
 E-Mail: saher@em.mpg.de

EVOLUTIONÄRE ANTHROPOLOGIE

## Protein verrät Speiseplan

Aus 75 000 Jahre alten Knochen eines Neandertalers hat ein Team unter der Leitung von Wissenschaftlern des Max-Planck-Instituts für evolutionäre Anthropologie in Leipzig ein Protein herausgelöst und die Abfolge seiner Aminosäuren bestimmt. Daraus lassen sich Hinweise auf die Ernährung jenes Hominiden gewinnen. Zudem erhoffen sich die Anthropologen neue Erkenntnisse darüber, ob sich Neandertaler und moderner Mensch damals vermischt haben. (PNAS, 7. März 2005)

„Wir haben in unseren Labors wohl das bislang älteste fossile Protein entschlüsselt“, sagt Christina M. Nielsen-Marsh vom Max-Planck-Institut für evolutionäre Anthropologie. Proteine, also Eiweißmoleküle, bestehen aus einigen zehn bis zu mehreren tausend kettenförmig aneinander gereihten Grundbausteinen, den Aminosäuren. Dabei stehen 20 verschiedene solcher Bausteine zur Auswahl – und ihre Reihenfolge innerhalb der Kette bestimmt deren spätere Faltung und damit die räumliche Struktur und Funktion des fertigen Proteins.

Ähnlich wie genetische Analysen liefern auch Aminosäuresequenzen Informationen über die Verwandtschaft zwischen ausgestorbenen und lebenden Arten. „Die Sequenzierung der Aminosäuren eines Proteins ermöglicht uns, die Verwandtschafts- und Ernährungsverhältnisse auch bei solchen Fossilien zu bestimmen, die kein Genmaterial mehr enthalten“, erklärt Nielsen-Marsh.

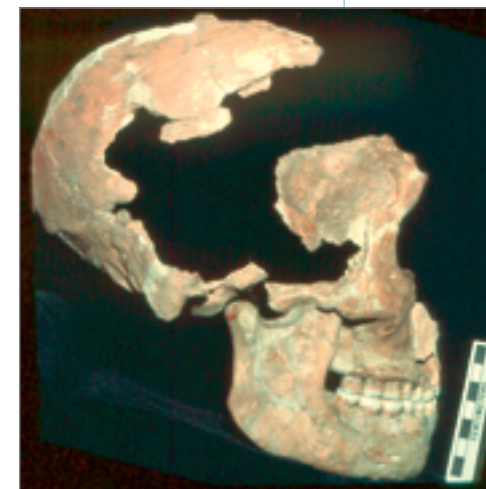
Der Fossilfund, den die Anthropologen der Abteilung Humanevolution untersucht haben, stammt aus der irakischen Shanidar-Höhle. Die Forscher isolierten aus einem der dort gefundenen Neandertaler-Kno-

chen ein Protein namens Osteocalcin und verglichen dessen Aminosäuresequenz mit den entsprechenden Sequenzen lebender Primaten – von Mensch, Schimpanse, Gorilla und Orang-Utan.

Vor allem interessierte die Wissenschaftler das Verwandtschaftsverhältnis zwischen dem Neandertaler und dem modernen Menschen (*Homo sapiens*). DNA-Vergleiche mit frühen modernen Menschen hatten bereits gezeigt, dass die Neandertaler keinen signifikanten genetischen Beitrag zu heute lebenden Menschen geleistet haben, obwohl sie theoretisch gemeinsame Nachfahren gezeugt haben könnten. So bevölkerten beide Gruppen die Erde zu etwa derselben Zeit: Die Neandertaler lebten vor 150 000 bis 30 000 Jahren in Europa, in Teilen Asiens und des Mittleren Ostens, und der moderne Mensch trat erstmals in Afrika vor etwa 100 000 bis 200 000 Jahren auf.

Wie die Leipziger Anthropologen nun fanden, entspricht die Aminosäuresequenz des Neandertaler-Osteocalcins zwar weitgehend der des modernen Menschen. „Doch das bedeutet nicht“, sagt Nielsen-Marsh, „dass sich Neandertaler und moderner Mensch vermischt haben. Denn die identischen Sequenzen könnten unabhängig voneinander erworben worden sein oder von einem gemeinsamen Vorfahren stammen.“ Allerdings unterscheiden sich die Osteocalcinsequenzen von Neandertalern, Menschen, Schimpansen und Orang-Utans markant von denen der Gorillas und vieler anderer Säugetiere. So findet man an einer bestimmten Stelle des Proteins bei Gorillas und den meisten anderen Säugetieren die Aminosäure Hydroxyprolin, beim Neandertaler, Menschen, Schimpansen und Orang-Utan hingegen die Aminosäure Prolin.

„Möglicherweise ist dies eine Folge der Ernährung“, vermutet Christina M. Nielsen-Marsh. „Denn um aus Prolin Hydroxyprolin zu bilden, ist Vitamin C notwendig – und das ist in der Nahrung von Pflanzenfressern wie den Gorillas reichlich vorhanden, kann aber bei den Allesfressern unter den Primaten – also bei Menschen, Neandertalern oder Orang-Utans – zeitweise fehlen.“ Die Fähigkeit, Proteine ohne das Vorhandensein von Vitamin C zu bilden, könnte einen Vorteil für die Primaten bedeutet haben, die diesen Nährstoff selten auf dem Speiseplan hatten.



„Damit gibt uns die Proteinsequenzierung auch Aufschluss über das Ernährungsverhalten der Primaten“, meint die Max-Planck-Forscherin. „Sie eröffnet uns damit faszinierende Möglichkeiten, stammesgeschichtliche Zusammenhänge besser zu verstehen und neue Erkenntnisse in der Verhaltensforschung zu gewinnen.“ Zwar werde die Proteinsequenzierung nie solch exakte phylogenetische Daten liefern wie die Erbgutanalyse, doch könne ein Protein wie Osteocalcin bis zu 500 000, unter guten Bedingungen vielleicht auch einige Millionen Jahre überdauern. „Und deshalb hoffen wir, unsere Untersuchungen bald auch auf sehr frühe Hominidenfunde ausdehnen zu können“, so Nielsen-Marsh.

Der Schädel des 75 000 Jahre alten Neandertalers aus der irakischen Shanidar-Höhle. Aus den Knochen dieses Hominiden haben Max-Planck-Wissenschaftler ein fossiles Protein isoliert.

**© Weitere Informationen erhalten Sie von:**  
**DR. CHRISTINA M. NIELSEN-MARSH**  
 Max-Planck-Institut für evolutionäre Anthropologie, Leipzig  
 Tel.: +49 341 3550-361  
 Fax: +49 341 3550-399  
 E-Mail: nielsen@eva.mpg.de

FOTO: ERIK TRINKAUS

BIOPHYSIKALISCHE CHEMIE

## Wie Fliegen ihr Fett wegkriegen

Ist Nahrung im Überfluss vorhanden, legt der Organismus kontrolliert Reserven an – in Fettspeichern, auf die er in Hungerperioden zurückgreift. Entgleist diese Regulation, kommt es zu Fettleibigkeit oder extremer Abmagerung. An der Fruchtfliege *Drosophila* haben Forscher am Göttinger Max-Planck-Institut für biophysikalische Chemie nach den Genen gesucht, die den Fetthaushalt und damit das Körpergewicht beeinflussen. Dabei stießen sie auf das *brummer*-Gen, das über sein Produkt – ein Speicherfett spaltendes Enzym – offenbar wesentlich über dick oder dünn entscheidet. (CELL METABOLISM, 11. Mai 2005)

Fehlt das *brummer*-Gen, werden Fruchtfliegen fett, ist das Gen überaktiv, magern die Tiere

ab: So lassen sich die jüngsten Ergebnisse der Göttinger Arbeitsgruppe Molekulare Physiologie um Ronald P. Kühnlein zusammenfassen. Das Team hat genetisch bedingte Unterschiede im Körperfettgehalt am Modellsystem *Drosophila* untersucht. Zwar gibt es bei Taufliegeln keine sichtbaren Unterschiede zwischen dick und dünn, doch kann der Körperfettgehalt – abhängig vom *brummer*-Gen – bei fetten Fliegen 15-fach höher liegen als bei ihren mageren Artgenossen. Da das *brummer*-Gen ein menschliches Pendant besitzt, liegt der Verdacht nahe, dass diese Genfamilie auch an krankhaften Formen von Fettsucht – Adipositas – beim Menschen mitspielt.

Adipositas entsteht durch eine Fehlfunktion des Energiehaushalts, eines Regulationsnetzwerks, das zum einen die Speicherung von Körperfett bei Nahrungsüberschuss bewirkt, zum andern dessen Mobilisierung steuert, wenn Schmalhans als Küchenmeister regiert. Die physiologische Steuerung dieses Energiegleichgewichts ist eine universelle Eigenschaft aller Tiere. Beim Menschen galt Adipositas lange als Folge

von Überfluss und Wohlstand. Doch nach Schätzungen der Weltgesundheitsorganisation WHO leiden mittlerweile mehr als eine Milliarde Menschen an Übergewicht – und davon sind 300 Millionen als krankhaft fettleibig einzustufen.

Die Göttinger Forscher identifizierten nun bei *Drosophila* das *brummer*-Gen; es kodiert für ein Enzym, das an intrazelluläre Fettspeichertröpfchen im Fettgewebe der Fliege bindet und diese angesammelten Energieträger dem Stoffwechsel zugänglich macht. Verwandte dieses Fliegenenzym arbeiten auch in Säugetieren. Erste Hinweise auf diese überraschende evolutionäre Konservierung von Werkzeugen und Mechanismen der Fettspeicherregulation zwischen Insekten und Säugetieren hatten bereits frühere Untersuchungen der Arbeitsgruppe an dem Fliegengen *Lsd-2* gezeigt, einem Verwandten des Adipositasgens *Perilipin* bei Säugern.

Die funktionelle Charakterisierung des *brummer*-Gens erweitert für die Arbeitsgruppe von Roland P. Kühnleins nicht nur wesentlich das Verständnis der Körperfettspeicherung bei Insekten. Vielmehr weist die Existenz des verwandten *ATGL*-Gens (*adipocyte triglyceride lipase*) in Fettspeicherzellen von Säugetieren darauf hin, dass diese Genfamilie eine evolutionär konservierte Schlüsselrolle für die Regulation des Körperfettgehalts bei Tieren spielt.

Das lässt die Göttinger Max-Planck-Wissenschaftler darauf hoffen, über das genetisch und molekular gut zugängliche Modellsystem der Fruchtfliege zu neuen Ansätzen für die Behandlung von Adipositas auch beim Menschen vorzustoßen. Bis dahin bleiben nur bewusste, ausgewogene Ernährung und regelmäßige körperliche Betätigung als wirksame Mittel gegen Übergewicht und Fettsucht.



• Weitere Informationen erhalten Sie von: DR. RONALD P. KÜHNLEIN Max-Planck-Institut für biophysikalische Chemie, Göttingen Tel.: +49 551 201-1049 Fax: +49 551 201-1755 E-Mail: rkuehnl@gwdg.de



Die Tauf­fliege *Drosophila melanogaster* ist seit jeher das bevorzugte Haustier der Genetiker. Inzwischen hilft sie auch bei der Suche nach Genen, die den Fettstoffwechsel regulieren. Das Bild zeigt eine Fliege, deren Fettspeicher­gewebe grün ange­färbt ist.

FOTO: MPI FÜR BIOPHYSIKALISCHE CHEMIE

# Panorama

**MÄUSE GERATEN AUS DEM TAKT**, wenn ein Gen namens *Ear2* während ihrer Entwicklung ausfällt. Dieses Gen kodiert für ein Protein, das während der Embryogenese als so genannter Transkriptionsfaktor im *Locus coeruleus* wirkt – einem kleinen Areal des Säugetierhirns, das beim erwachsenen Tier als Quelle des Neurotransmitters Noradrenalin fungiert. An Mausmutanten, denen *Ear2* fehlte, konnten Forscher des Max-Planck-Instituts für experimentelle Endokrinologie in Hannover jetzt studieren, welche Bedeutung dieses Gen, und damit ein funktionstüchtiger *Locus coeruleus*, für diese Nager besitzt. So wies der *Locus coeruleus* bei den Mäusen, die ohne *Ear2* aufgewachsen waren, um 70 Prozent weniger Nervenzellen auf als bei normal entwickelten Tieren. Entsprechend niedrig, bei nur einem Viertel des normalen Werts, lag auch die Konzentration von Noradrenalin in der Großhirnrinde der Defekt-Mutanten. Dieser Mangel äußerte sich zum einen in einer erhöhten Störanfälligkeit der inneren Uhren dieser Tiere, das heißt der tagesperiodischen Steuerung ihres Verhaltens, zum anderen in einer gesteigerten Schmerzempfindlichkeit. Ob und inwieweit der *Locus coeruleus* auch das Angst- und Lernverhalten sowie Gedächtnisleistungen beeinflusst, sollen weitere Untersuchungen klären.

**GAMMAQUANTEN ERZEUGEN LEUCHTSPUREN**, wenn sie vom Weltraum aus auf Atome und Moleküle der Luft prallen und sie zertrümmern: Die dabei erzeugten schnellen Teilchen (Luftschauber) verraten durch einen bläulichen Lichtkegel die Einfallsrichtung und damit den Ursprung der kosmischen Gammastrahlen. Anhand dieser so genannten Cherenkov-Strahlung hat ein internationales Team unter Federführung des Heidelberger Max-Planck-Instituts für Kernphysik jetzt acht neue Quellen hochenergetischer Gammastrahlung im Kernbereich der Milchstraße geortet. Die Forscher nutzten dafür die vier HESS-Teleskope, die seit Dezember 2003 im Hochland von Namibia im Einsatz sind. Nicht nur, dass damit das Dutzend bislang bekannter „Hochleistungs-Gammaquellen“ unerwartet großen Zuwachs erhält: Einige der neuen Objekte überraschen durch ihre Ausdehnung von mehreren Lichtjahren und lassen sich zudem allein über hochenergetische Gammastrahlung, nicht jedoch über sichtbares Licht sowie Radio- oder Röntgenstrahlung nachweisen. Damit verkörpern sie eine völlig neue und vorerst rätselhafte Art von galaktischen Strahlungsquellen.

**MAISWURZELN RUFEN UM HILFE**, wenn sie von Schädlingen befallen werden: Sie sondern einen Botenstoff ab, der winzige Würmer (Nematoden) anlockt, die sich dann ihrerseits über die Aggressoren hermachen. Auf diese Weise, so entdeckten

Forscher des Max-Planck-Instituts für chemische Ökologie in Jena und der schweizerischen Universität Neuchâtel, wehren sich Maissorten aus europäischen Züchtungen gegen die Larven des Maiswurzelbohrers *Diabrotica virgifera*. Demnach funktioniert auch unterirdisch, also im Boden, was oberirdisch schon länger bekannt ist: Angefressene Pflanzen rekrutieren über Signalstoffe die Feinde ihrer Feinde als Hilfstruppen. Weiter zeigte sich, dass auch die Stammpflanze des Mais, das mexikanische Teosinte-Gras, denselben Botenstoff über ihre Wurzeln freisetzt, dass hin-



Eine Larve des Wurzelbohrers befällt Maiswurzeln. Im Hintergrund Nematoden, die sich für das Insekt interessieren.

gegen die in Nordamerika genutzten, auf hohe Erträge gezüchteten Maissorten diese Fähigkeit offenbar eingebüßt haben und deshalb Schutz durch Pestizide benötigen. Es sollte sich lohnen, so die Forscher, vermehrt Wildarten von Pflanzen auf derlei natürliche Abwehrmechanismen hin zu untersuchen: Daraus ließen sich Strategien für den biologischen Schutz von Kulturpflanzen ableiten, die unter der züchterischen Obhut des Menschen vergessen haben, sich eigenständig ihrer Feinde zu erwehren.

**GLIAZELLEN DICHTEN LECKS** in Hirngefäßen ab und sorgen für Aufräumarbeiten in den umgebenden, durch die Blutung geschädigten Arealen: Das haben Wissenschaftler des Göttinger Max-Planck-Instituts für experimentelle Medizin sowie des Max-Planck-Instituts für medizinische Forschung in Heidelberg erstmals unmittelbar an Mäusen beobachtet. Den Versuchstieren war dazu ein Gen übertragen worden, das die Zellen der so genannten Mikroglia dazu brachte, ein grün fluoreszierendes Protein zu bilden – so, dass sich die Aktivität dieser immunkompetenten Sorte von Gliazellen durch die Schädeldecke der Mäuse hindurch mittels Laserlicht und Zwei-Photonen-Mikroskopie verfolgen ließ. Dabei zeigte sich, dass die Zellen der Mikroglia auch im gesunden Gehirn fortwährend aktiv sind und über Fortsätze ihre Umgebung abtasten. Platzt ein Hirngefäß, bahnen sich diese Zellfinger binnen weniger Minuten einen Weg zum Ort der Verletzung und versuchen den Schaden zu begrenzen. Ob auch andere Defekte, wie sie etwa im Zug der Alzheimer-Krankheit auftreten, die Zellen der Mikroglia auf den Plan rufen, soll nun weiter geklärt werden.



www Mehr zu diesen Themen finden Sie unter www.maxplanck.de