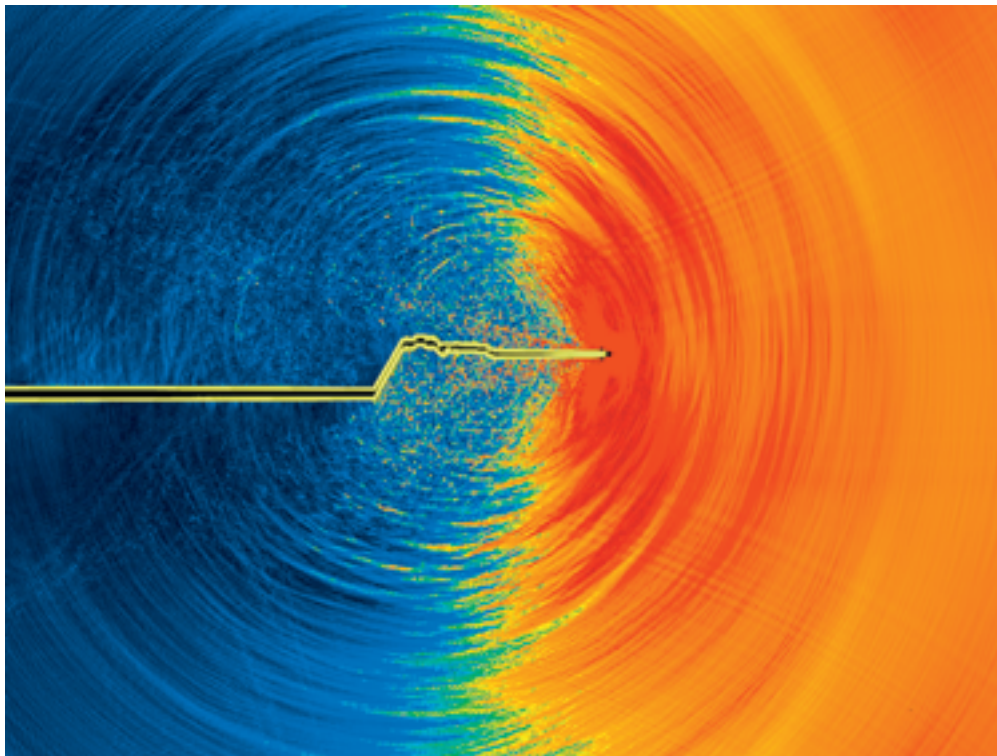




FORSCHUNG aktuell



METALLFORSCHUNG

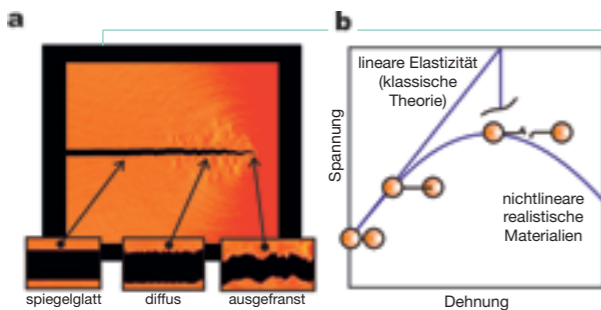
Was Risse rasend macht

Meist passiert es überraschend. Und es geht rasend schnell. Es splittert und kracht und plötzlich klafft ein tiefer Riss in der Oberfläche. Wenn Materialien zerreißen, brechen Atombindungen auf. Wie das genau geht, war lange Zeit ein Rätsel. Wissenschaftler des Max-Planck-Instituts für Metallforschung in Stuttgart und des Massachusetts Institute of Technology (MIT) in Cambridge haben nun das Bruchverhalten von Materialien simuliert. Dabei konnten sie zeigen, dass der Zusammenhang zwischen Spannung und Dehnung vor allem bei starker Krafteinwirkung nicht linear ist. Das beeinflusst entscheidend, wie sich ein Riss ausbreitet. (NATURE, 19. Januar 2006)

FOTOS: MÄRKUS BUEHLER / MASSACHUSETTS INSTITUTE OF TECHNOLOGY

Seit Jahrzehnten suchen Forscher nach einer Erklärung, wie sich Risse in Materialien ausbreiten. Vor allem in homogenen Materialien kann man nur schwer vorhersagen, wo bei einer Belastung Risse und Brüche auftreten werden. Klar ist: Wenn Materialien brechen, dann trennen sich Atome und es entstehen neue Oberflächen. Dabei haben Experimente bereits gezeigt, dass bei einem langsamen Aufreißen atomare Oberflächen entstehen, die spiegelglatt sind, während schnellere Risse die Flächen immer unregelmäßiger werden lassen, bis sie sich schließlich verzweigen. Diese dynamischen Bruchinstabilitäten lassen sich in vielen spröden Materialien beobachten, wie etwa in Metallen, Polymeren oder Halbleitern. ▶

An der Risspitze tritt eine dynamische Instabilität auf: Während der Riss immer schneller wächst, wird seine Vorwärtsbewegung instabiler. Der Riss ändert seine Richtung und hinterlässt eine zunehmend unregelmäßige Oberfläche.



Ein wachsender Riss frant aus (a): Anfangs sind die Rissflächen spiegelglatt (mirror), werden dann diffus (mist) und können schließlich sogar die Richtung wechseln und sich verzweigen (hackle). Anders als bislang angenommen, wächst die Spannung in einem Material nicht linear, wenn es gedehnt wird (b): Am Scheitelpunkt der Kurve brechen die Bindungen zwischen den Atomen und anschließend nimmt die Spannung wieder ab.

Seit einigen Jahren ist klar, dass man bei den Untersuchungen solcher Phänomene die Atome in die Erklärungsversuche mit einbeziehen muss. Aber welche Rolle spielt die Physik im atomaren Maßstab? Und wie lässt sich die Geschwindigkeit der Rissausbreitung berechnen?

Nun hat ein Team um Markus Buehler und Huan Gao sich dieses Problems angenommen: Sie entwickelten mit Computerexperimenten ein Modell, das die Ausbreitung von Rissen in unterschiedlich spröden Materialien beschreibt. Dabei gingen die Max-Planck-Forscher davon aus, dass in der dynamischen Bruchinstabilität mehrere Prozesse zusammenspielen, die vom Energiefluss und vom Spannungsfeld in der direkten Umgebung der Risspitze und letztendlich von der Stärke der chemischen Bindung zwischen den Atomen abhängen. Diese Bindungsstärke wird auch davon bestimmt, wie stark die Bindung gedehnt ist. Die Risspitze beschreibt die Region, in der Atombindungen brechen und neue Oberflächen entstehen. Neben Rissen kennen die Wissenschaftler noch andere Defekte in den Materialien, etwa Leerstellen im Atomgitter oder versetzte Atome.

Anders als man bisher dachte, haben Bruchstellen nicht unbedingt mit vorher vorhandenen Defekten in den Materialien zu tun, sondern treten auch in absolut homogenen Körpern auf, die aus perfekten Kristallgittern bestehen. „Alles deutet darauf hin, dass die dynamischen Bruchinstabilitäten eine universelle Eigenschaft von Rissen im Allgemeinen sind, ganz unabhängig vom Material“, sagt Markus Buehler. „Wir haben herausgefunden, dass sich die Ungereimtheiten bei den bisherigen Erklärungsversuchen lösen lassen, wenn man das Verhalten des Materials beim Aufbrechen der atomaren Bindungen betrachtet, anstatt nur Materialbelastungen unter kleinen Zugbeanspruchungen in die Rechnung mit einbeziehen, wie es bislang geschah.“ In einigen Spezialfällen geht die neue Theorie der Material-

forscher in bestehende Modelle über. Sie erlaubt aber darüber hinaus eine einheitliche Behandlung des Instabilitätsproblems bei einer größeren Vielfalt von Materialien. Denn die kleinen Belastungen, auf die man in den herkömmlichen Modellen setzte, führten zu einem einfachen, linearen Zusammenhang zwischen Zugspannung und Materialbeanspruchung. Während im linearen Modell die Spannung proportional mit der Dehnung wächst, ist im nichtlinearen Modell eine deutliche Abweichung von diesem Verhalten zu erkennen (Hyperelastizität).

Hyperelastizität tritt insbesondere an der Spitze eines Risses auf, wo die Annahme eines linearelastischen Modells kläglich versagt. „Wegen der großen Spannungen auf engstem Raum spielen quantenmechanische und atomare Eigenschaften der Materialien an der Spitze plötzlich eine große Rolle“, erklärt Buehler. „Diese führen zu Veränderungen in der Struktur der chemischen Bindungen.“ Die Strukturveränderungen wiederum stellen die physikalische Ursache von Hyperelastizität dar. „Obwohl sich diese Effekte oft auf einen sehr kleinen Raum von einigen Atombindungen beschränken, haben sie dramatische Auswirkungen auf die Dynamik der Risse und Messungen im Labor“, sagt Buehler. Physikalisch stelle sich das als ein Wettbewerb zwischen enormen Kräften dar, die Arbeit auf sehr engem Raum verrichten.

Buehler und seine Kollegen haben dieses Wechselspiel in ihrem neuen Modell berücksichtigt und beschreiben die Prozesse durch ihre Beobachtungen in den Simulationen. Damit haben sie es zum ersten Mal geschafft, die mikroskopischen Eigenschaften der chemischen Bindungen in Zusammenhang mit dem makroskopischen Phänomen der Rissausbreitung zu bringen.

Mit dem neuen Modell lassen sich nun auch ungewöhnliche Änderungen der Elastizität an der Spitze eines Risses erklären. So verändert sich in bestimmten Materialien die Elastizität mit der Deformation. Gummi etwa ist weich. Wenn man ihn jedoch stark dehnt, wird er hart. Daher wird die Energie, die beim Reißen auftritt, je nach Deformation unterschiedlich stark geschluckt. Die neue Theorie zeigt: In Materialien, die wie Gummi mit zunehmender Dehnung immer härter werden, können sich Risse schneller ausbreiten als der Schall – im Widerspruch zur gängigen Theorie. Bestätigt fühlen sich die Wissenschaftler durch Laboruntersuchungen. Hier gelang kürzlich der Nachweis solcher Überschallrisse auch im Experiment.

Das neue Modell könnte zur Beschreibung der Rissausbreitung in Nanomaterialien dienen, genauso wie es Architekten helfen könnte, die Rissentstehung an Gebäuden zu erklären. Auch in der Erdbebenforschung gibt es Anwendungsmöglichkeiten: Erdbeben lassen sich als Risse in der Erdkruste beschreiben. Die Kenntnis, wie sich die Erdstöße ausbreiten, könnte helfen, den Schaden durch ein Erdbeben zu begrenzen.

© Weitere Informationen erhalten Sie von:
MARKUS J. BUEHLER
 Massachusetts Institute of Technology, Cambridge
 Tel.: + 1 617 452-2750
 Fax: + 1 617 258-6775
 E-Mail: mbuehler@mit.edu

EXPERIMENTELLE MEDIZIN

Aversion macht abstinent

Rund 2,5 Millionen behandlungsbedürftige Alkoholranke gibt es nach Schätzungen der Deutschen Hauptstelle gegen die Suchtgefahren (DHS) in Deutschland. Wissenschaftler des Max-Planck-Instituts für experimentelle Medizin und der Georg-August-Universität Göttingen haben jetzt einen neuen Weg aus der Sucht gefunden. Sie haben getestet, wie Disulfiram und Calciumcarbimid – Medikamente, die eine Alkoholunverträglichkeit bewirken – das Auftreten von Abstinenz, kurzfristigen Alkoholausrutschern oder schweren Rückfällen bei chronisch alkoholkranken Patienten beeinflussen. Die Ergebnisse zeigen, dass diese Aversionsmittel eine wirkungsvolle Hilfe für alkoholranke Patienten sind und Abstinenzraten von mehr als 50 Prozent auch sieben Jahre nach Therapieende erreichen. Beide Medikamente scheinen vor allem eine psychologische Rolle bei der Rückfallprävention zu spielen. (ALCOHOLISM: CLINICAL & EXPERIMENTAL RESEARCH, Januar 2006)

Alkoholsucht setzt schleichend ein und führt schlimmstenfalls bis zur völligen Selbstaufgabe. Viele Abhängige können die Krankheit nur noch über eine Therapie besiegen. „Obwohl üblicherweise bis zu 30 Prozent alkoholkranker Patienten angeben, zwei bis drei Jahre nach einer Therapie abstinent zu sein, zeigen Laboranalysen, dass nur sechs bis 20 Prozent der Patienten nach zwei Jahren tatsächlich keinen Rückfall erleiden“, sagt Hannelore Ehrenreich, die Leiterin der Arbeitsgruppe Klinische Neurowissenschaften am Max-Planck-Institut für experimentelle Medizin. Diese Zahlen spiegeln die Erfahrung wider, dass Alkoholabhängigkeit eine chronische und zu Rückfällen führende Krankheit ist, die in manchen Fällen eine lebenslange Behandlung erfordert.

Die Max-Planck-Mediziner haben die psychologische Wirkung der Alkoholaversiva Disulfiram und Calciumcarbimid auf 180 chronisch ranke Patienten untersucht. Die Medikamente hemmen das Enzym Acetaldehyddehydrogenase, sodass sich bei Alkoholkonsum das toxische Acetaldehyd im Körper anhäuft. Die Folgen sind Blutdruckentgleisung, Pulsrasen, Erbrechen und gelegentlich sogar Kreislaufkollaps.

Alle Probanden wurden in die zweijährige ambulante Langzeit-Intensivtherapie für Alkoholranke (ALITA) aufgenommen und danach sieben Jahre beobachtet. Ein Element der Behandlung war die Einnahme der beiden Medikamente. Im Mittelpunkt stand dabei die Frage, in welchem Maße Disulfiram und Calciumcarbimid Rückfälle verhindern können. „Neun Jahre nach Beginn der Therapie wiesen die Patienten eine Abstinenzrate

von 50 Prozent auf“, sagt Ehrenreich. „Bei Patienten, die die Aversiva länger als 20 Monate einnahmen, war die Abstinenzrate höher als bei jenen, die die Medikamente vor dem 20. Monat absetzten.“

Auf eine eher psychologische denn pharmakologische Wirkung weisen drei Ergebnisse hin: Je länger ein Patient Alkoholaversiva einnimmt, desto eher bleibt er auch kontinuierlich abstinent. Außerdem ist die Dosis der Aversiva für ihre Wirksamkeit irrelevant. Zudem konnten die Wissenschaftler zeigen, dass ein Schein-Aversivum, also ein wirkungsloses Medikament, ebenso effektiv wirkt, wenn man dem Probanden ständig die Wirkung erklärt, ihn häufig anleitet und ihn bestärkt, die Aversiva in einer wiederholten, bewussten Entscheidung gegen den Alkohol einzunehmen.



Diese psychologische Rolle der Alkoholaversiva bei der Rückfallprävention unterstützt die Annahme, dass anhaltende Abstinenz, die mit Disulfiram oder Calciumcarbimid erzeugt wird, automatisch auch eine Enthaltungsgewohnheit festigt. Je länger ein alkoholkranker Mensch also schon abstinent war, desto länger wird er es auch bleiben.

Die Studie zeigt nach Meinung der Max-Planck-Forscher, dass eine langfristige Abstinenz nur erreicht werden kann, wenn sich die Patienten dauerhaft behandeln lassen. Dazu müssen sie sich lebenslang Kontrolluntersuchungen unterziehen und regelmäßig Selbsthilfegruppen besuchen. In dieses Therapiekonzept lässt sich die Einnahme der gut verträglichen Aversiva integrieren.

Ehrenreichs Kollege Henning Krampe warnt vor den Folgen, wenn Patienten ohne entsprechende Betreuung Alkoholaversiva nehmen: „Wir haben immer wieder Leute in der Notaufnahme, die ein Alkoholaversivum genommen und trotzdem getrunken haben.“ Der Entwöhnung mit Alkoholaversiva nachzuhelfen, empfiehlt sich daher nur, wenn die Suchtkranken rund um die Uhr beobachtet werden. Nur dann können Ärzte bei einem Rückfall schnell eingreifen.

Eher die Finger vom Glas lässt, wer Disulfiram oder Calciumcarbimid nimmt, denn diese Medikamente bewirken eine Alkoholunverträglichkeit. Süchtige helfen die Substanzen, abstinent zu bleiben.

© Weitere Informationen erhalten Sie von:
PROF. DR. DR. HANNELORE EHRENRICH
 Max-Planck-Institut für experimentelle Medizin, Göttingen
 Tel.: + 49 551 3899-628
 Fax: + 49 551 3899-670
 E-Mail: ehrenreich@em.mpg.de

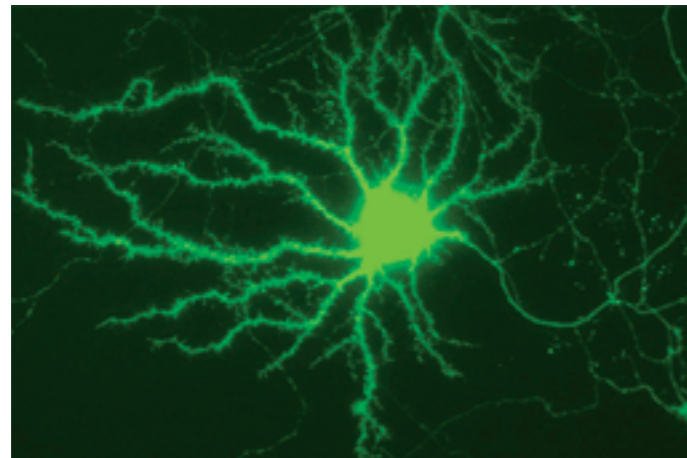
Foto: MAURITIUS

ERRATUM
 In MAXPLANCKFORSCHUNG 4/2005 hat sich im Beitrag „All-Chemie mit dem Radioteleskop“ ein peinlicher Fehler eingemischt: Dort wird hartnäckig die Aminosäure Glyzin als Grundbaustein der DNA bezeichnet. Dass Aminosäuren, mithin auch Glyzin, Bausteine der Proteine sind, hätte uns (wie manchen aufmerksamen Lesern) auffallen müssen. So aber bleibt die Entschuldigung – und die Hoffnung, dass man auch aus den dümmsten Fehlern noch lernen kann...

ENTWICKLUNGSBIOLOGIE

Wie Synapsen fit bleiben

Über spezielle Verbindungsstellen, die Synapsen, speichern die Nervenzellen im Gehirn Informationen und tauschen sie untereinander aus. Die molekularen Vorgänge, die uns das Merken und Lernen ermöglichen, sind jedoch bis heute nahezu unverstanden. Forscher um Michael Kiebler vom Max-Planck-Institut für Entwicklungsbiologie in Tübingen haben nun ein Protein identifiziert, das bei der Arbeit der Synapsen eine wichtige Rolle spielt. Ist dieses Staufen2-Protein in den Nervenzellen nicht mehr vorhanden, dann geht ein großer Teil der wichtigen neuronalen Schaltstellen verloren und die Gedächtnisleistung nimmt drastisch ab. (JOURNAL OF CELL BIOLOGY, 17. Januar 2006)



Unter dem Mikroskop erscheinen Synapsen von Nervenzellen des Hippocampus als kleine, pilzförmige Ausstülpungen entlang der feinen Verästelungen der Zellen.

Dazu müssen diese mRNA im Zellkörper von speziellen RNA-bindenden Proteinen erkannt und an die nicht selten sehr weit entfernten Synapsen transportiert werden. Und an diesem Transportvorgang ist das Staufen2-Protein maßgeblich beteiligt.

Dass dieses Protein unverzichtbar für den Erhalt der Synapsen ist, haben nun Bernhard Götz und Paolo Macchi in der Gruppe von Michael Kiebler erstmals nachgewiesen. Dazu hatten die Wissenschaftler einzelne Proteine in den Nervenzellen ausgeschaltet. Fehlte das Staufen2-Protein, so war die Architektur der Synapsen empfindlich gestört. Statt vieler pilzförmiger Ausstülpungen bildete die Zelle nur einige wenige lange und dünne Ausläufer. In ihrer Form ähnelten diese Verbindungen unreifen Synapsen.

Eine genauere Analyse des Aktin-Zellskeletts ergab einen ersten Hinweis auf eine mögliche Erklärung des Phänomens: Aktin ist ein zentrales Protein des Zellgerüsts, das den Synapsen ihre Form gibt. Die formlosen Synapsen in den Nervenzellen ohne Staufen2-Protein enthielten sehr viel weniger Aktinfäden als die Synapsen in normalen Zellen. Die Boten-RNA für Aktin wird normalerweise in


Über weit verzweigte Ausläufer (Dendriten) empfangen Nervenzellen Signale von anderen Nervenzellen. Dieses Übertragungssystem ähnelt den Ästen eines Baumes. Die erhaltenen Informationen werden über das Axon, einen langen Fortsatz der Zelle, an die nachgeschalteten Nervenzellen weitergegeben. Jeder Kontakt zwischen den Nervenzellen erfolgt an hoch spezialisierten Bereichen, den Synapsen. Diese Kontaktstellen bestehen aus zwei Teilen: Der eine entspringt dem Axon der sendenden, der andere dem Dendriten der empfangenden Zelle. Von den restlichen Teilen der Nervenzellen unterscheiden sich die Synapsen auch durch die in ihnen enthaltenen Moleküle. Beim Lernen verändern sich diese Kontaktstellen in ihrer Struktur und in ihren funktionellen Eigenschaften. So können sie auch neue Gedächtnisinhalte speichern.

In den Dendriten jedoch entstehen solche Veränderungen erst, wenn bestimmte Proteine an der Synapse hergestellt werden. Für diese Proteinsynthese ist es entscheidend, dass die entsprechende Boten-RNA (mRNA), die die Informationen über den Bauplan des zu produzierenden Proteins in sich trägt, tatsächlich zu der Synapse gelangt.

die Dendriten transportiert und zum Teil erst dort in Proteine umgeschrieben. Ist Staufen2 als Transportprotein in den Nervenzellen nicht mehr vorhanden, gelangt weniger Boten-RNA in die Synapsen und weniger Aktin wird gebildet. Dies könnte die stark veränderte Form der dendritischen Ausläufer verursachen.

Um herauszufinden, ob die Signalübertragung in den Zellen auch ohne Staufen2 noch funktioniert, untersuchten die Forscher die elektrische Aktivität einzelner Synapsen. Dabei stellten sie fest, dass die Signalübertragung zwischen den Zellen ohne das Staufen2-Protein nur noch eingeschränkt funktionierte. „Das war ein wichtiger Hinweis darauf, dass Staufen2 in den Nervenzellen für die Ausbildung funktionierender Synapsen unverzichtbar ist“, sagt Michael Kiebler.

So konnten die Max-Planck-Forscher erstmals eine Brücke zwischen molekularen Vorgängen im empfangenden Teil einer Nervenzelle und den Veränderungen in Struktur und Funktion ihrer Synapsen schlagen. Das könnte zu einem besseren Verständnis der molekularen Mechanismen beitragen, mit denen das Gehirn lernt und sich erinnert.

 **@ Weitere Informationen erhalten Sie von:**
DR. MICHAEL KIEBLER
Zentrum für Hirnforschung der Medizinischen Universität, Wien
Tel.: + 43 1 4277-62 920
Fax: + 43 1 4277-62 928
E-Mail: Michael.Kiebler@meduniwien.ac.at

KLIMAFORSCHUNG

Methan aus grünen Lungen



FOTO: MPI FÜR KERNPHYSIK - B. SCHIEREN

Regenwald in Surinam: Die Tropen tragen nach den Forschungsergebnissen des Max-Planck-Instituts für Kernphysik besonders stark zum Methanbudget in der Atmosphäre bei, da dort die Vegetation besonders dicht ist.

Pflanzen geben Methan ab: Mit diesem Befund haben Wissenschaftler des Max-Planck-Instituts für Kernphysik, der Universität Utrecht sowie des Instituts für Landwirtschaft in Nordirland in Fachkreisen für Aufsehen gesorgt – und zugleich in einigen Medien auch vorschnelle und abwegige Spekulationen darüber angestoßen, ob Aufforstungsprogramme dem Klima mehr schaden als nützen. (NATURE, 12. Januar 2006)

Von Wasserdampf einmal abgesehen ist Methan nach Kohlendioxid das zweitwichtigste Spurengas, das beeinflusst, wie viel Strahlung die Atmosphäre aufnimmt und abgibt. Somit trägt es sowohl zum natürlichen als auch zum anthropogenen Treibhauseffekt bei. Der Großteil des Methans der Atmosphäre ist biogenen Ursprungs, wird also beim Abbau von biologischem Material gebildet – und zwar durch so genannte anaerobe Mikroorganismen, die ihr Werk unter Ausschluss von Sauerstoff verrichten: in Sümpfen und Mooren, im Verdauungstrakt von Wiederkäuern und Termiten sowie in Mülldeponien und Klärwerken. Deshalb firmiert Methan auch als Sumpfgas.

Dieses herkömmliche Bild vom grundsätzlich anaeroben Ursprung des biogenen Methans ist nun überholt. Denn Wissenschaftler am Heidelberger Max-Planck-Institut konnten nachweisen, dass lebende Pflanzen Methan produzieren, und das in sauerstoffhaltiger Luft. Die Forscher hatten zunächst untersucht, welche Gase von abgestorbenen und frischen Laubblättern abgegeben werden, und danach im Labor entsprechende Messungen auch an lebenden Pflanzen durchgeführt.

Die entscheidenden Experimente liefen dabei unter methanfreier Luft, um den störenden Einfluss des natürlichen Methan-Hintergrunds auszuschalten. Zudem wurden auch Isotopen-Analysen vorgenommen, um sicherzustellen, dass das registrierte Methan tatsächlich aus einem bis dato unbekanntem Produktionsprozess stammte. Am Ende bestand kein Zweifel mehr: Lebende Pflanzen


geben Methan an die Umwelt ab – und zwar 10 bis 100 Mal mehr, als aus verrottendem Pflanzenmaterial unter anaeroben Bedingungen entweicht. Außerdem stieg die Produktion von Methan an, wenn die Pflanzen starkem Sonnenlicht ausgesetzt waren. Dass diese Tatsache so lange verborgen blieb, so Frank Keppler vom Heidelberger Max-Planck-Institut, erklärt sich aus dem Gewicht mancher wissenschaftlicher Dogmen: „Dem Lehrbuch zufolge konnte biogenes Methan unter Sauerstoff nicht entstehen – und deshalb hat einfach niemand genau hingesehen.“

Ersten Schätzungen zufolge produzieren Pflanzen weltweit zwischen 60 und 240 Millionen Tonnen Methan pro Jahr; das entspricht etwa 10 bis 30 Prozent der jährlichen globalen Emissionen von Methan in die Atmosphäre. Davon entsteht das meiste in tropischen Regionen mit hoher Vegetationsdichte – was die unerwartet hohen Methankonzentrationen über tropischen Wäldern erklärt, die unlängst von Satelliten gemessen wurden.

Ungeklärt ist vorerst noch, über welche Mechanismen das Methan in Pflanzen gebildet wird: Diese Reaktionswege aufzuspüren, bedeutet eine neue Herausforderung für Biochemiker und Pflanzenphysiologen. Und auch die Klimaforscher müssen diese neuen Berechnungen einbeziehen. Für sie stellt sich die Frage, welchen Einfluss auf das Klima die Biosphäre über das Methan nimmt – und ob sich steigende globale Temperaturen sowie höhere Kohlendioxidpegel auf die Methanproduktion in Pflanzen auswirken, sie möglicherweise verstärken und damit eine positive Rückkopplung in Sachen Treibhauseffekt bewirken.

Keinesfalls allerdings, das betonen die Heidelberger Forscher mit Blick auf Fehlinterpretationen ihrer Ergebnisse in manchen Medien, könne man die Methanemissionen aus Pflanzen für die Veränderung des globalen Klimas verantwortlich machen. Dazu Keppler: „Pflanzen sind eine natürliche Methanquelle. Sie emittieren dieses Gas schon seit hunderten von Millionen Jahren in die Atmosphäre und tragen damit zum natürlichen Treibhauseffekt bei – nicht aber zu der Temperaturerhöhung, die als anthropogener Treibhauseffekt durch menschliche Aktivitäten verursacht wird.“

Ebenso unsinnig sind Spekulationen, das Methan aus Bäumen mache den klimatischen Nutzen einer Speicherung von Kohlenstoff durch Aufforstungsprogramme zunichte oder bewirke gar das Gegenteil. „Unseren Schätzungen zufolge,“ so Keppler, „übersteigt der klimatische Nutzen einer Aufforstung deutlich den verhältnismäßig kleinen negativen Effekt der Methanfreisetzung.“ Der Effekt der Kohlenstoffspeicherung durch Bäume werde durch den Ausstoß von Methan vermutlich nur um höchstens vier Prozent gemindert.

 **@ Weitere Informationen erhalten Sie von:**
DR. FRANK KEPPLER
Max-Planck-Institut für Kernphysik, Heidelberg
Tel.: + 49 6221 516-575
Fax: + 49 6221 516-601
E-Mail: frank.keppler@mpi-hd.mpg.de

PROF. DR. THOMAS RÖCKMANN
Institute for Marine and Atmospheric Research Utrecht, The Netherlands
Tel.: + 31 30 253-3858
Fax: + 31 30 254-3163
E-Mail: t.roeckmann@phys.uu.nl

 www.film.mpg.de

NANOWISSENSCHAFTEN

Rutschbahn ins Verderben

Insekten können sich fast überall festhalten, auch die glattesten Landeplätze sind für sie meist kein Problem. Doch an den Oberflächen von Fleisch fressenden Kannenpflanzen scheitern selbst ihre Haftungskünste. Geraten sie an die Innenseite der sackförmigen Gewächse, rutschen sie ohne die geringste Chance bis auf den Boden, wo sie langsam verdaut werden. Wissenschaftler des Max-Planck-Instituts für Metallforschung in Stuttgart und der Universität Hohenheim haben nun gezeigt, wie die Kannenpflanzen die Innenseite ihrer Fallen konstruieren. Sie versehen ihre Oberflächen mit einer doppelten Wachsschicht, die eine perfekte Rutschbahn abgibt. (THE JOURNAL OF EXPERIMENTAL BIOLOGY, Dezember 2005)

Fleisch fressende Pflanzen, so genannte Karnivoren, sind eine hoch spezialisierte Pflanzengruppe. Sie fangen und verdauen kleine Tiere (meist Insekten), um Nährstoffe wie Stickstoff und Phosphor zu gewinnen, die im Boden fehlen. Um ihre Opfer zu erbeuten, haben die Fleisch fressenden Pflanzen spezielle Fangorgane entwickelt. Wie diese Fangvorrichtungen, insbesondere die Wachststruktur bei der tropischen Kannenpflanze *Nepenthes*, beschaffen sind, wollten die Stuttgarter Max-Planck-Forscher genau wissen.

Nepenthes-Kannen gehören zu den passiven Fallen, sie bewegen sich also nicht, um Beute zu fangen. Damit sie trotzdem an Nahrung gelangen, haben sie sich auf eine andere Methode spezialisiert: Sie locken ihre Opfer in eine Falle, die so aufgebaut ist, dass ihr nicht zu entkommen ist. In der Kanne lassen sich eine Rand-, eine Gleit- und eine Verdauungszone unterscheiden, in welcher Verdauungsflüssigkeit die Beutetiere empfängt. Eine Schlüsselrolle spielt bei dieser Falle die Gleitzzone an der Innenseite der Pflanzen. Dieser Bereich ist mit kristallinem Wachs bedeckt – das den unvorsichtigen Tieren zum Verhängnis wird: Sobald sie mit ihm in Berührung kommen, finden sie keinen Halt mehr und rutschen in die Verdauungsflüssigkeit und damit in den sicheren Tod.

Die Mikrostruktur dieses Wachses haben die Wissenschaftler um Elena Gorb nun unter die Lupe genommen. Dazu studierten sie die chemische Zusammensetzung und die mechanischen Eigenschaften der Wachse. Anschließend kombinierten sie ihre Untersuchungen mit Experimenten zum Insektenverhalten. Die Forscher fanden heraus, dass die Wachsaufgabe aus zwei aufeinander liegenden, separaten Schichten besteht, die die Haftkraft der Tiere auf unterschiedliche Weise reduzieren.

Die obere Wachsschicht besteht aus unregelmäßigen 30 bis 50 Nanometer (milliardstel Meter)

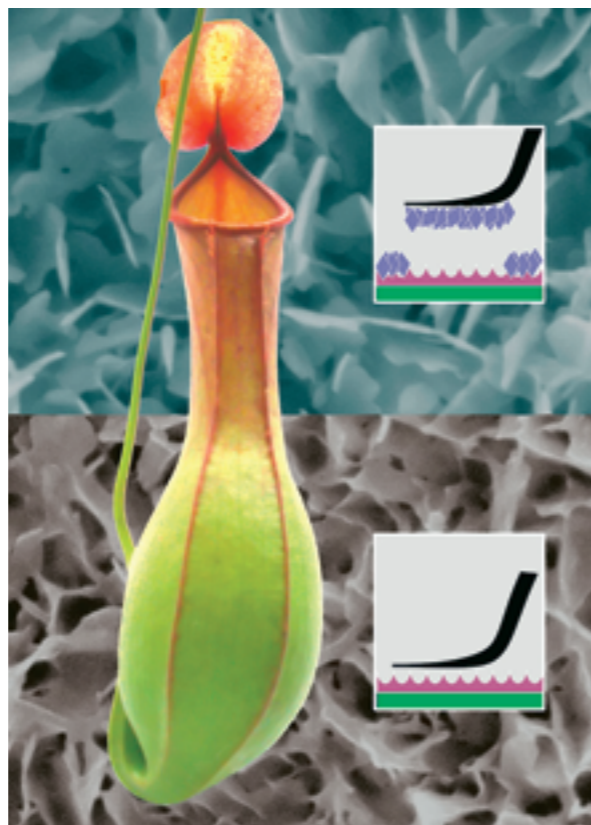


Foto: MPI für Metallforschung

Die Gleitfalle der Kannenpflanze *Nepenthes alata*. Im Hintergrund eine rasterelektronenmikroskopische Aufnahme der oberen und unteren Wachsschicht. Die eingefügten Schemata erklären, wie die beiden Wachsschichten die Haftkraft der Insekten reduzieren: Die obere Schicht verschmutzt die Insektenfüße; die untere vermindert die Kontaktbildung zwischen den adhäsiven Hafthaaren der Füße und dem Untergrund.

dicken Plättchen, die sich mehr oder weniger senkrecht zur anderen Schicht und zur Oberfläche der Kanne wand anordnen. Die Kristalle dieser Schicht bleiben an den Haftorganen der Beutetiere kleben und verschmutzen sie. Die untere Schicht ähnelt einem Schaumstoff. Sie besteht aus miteinander verbundenen Membranplättchen, die in einem spitzen Winkel aus der Oberfläche herausragen und keine klare Ausrichtung besitzen. Diese Schicht reduziert die Kontaktfläche, die Insektenfüße benötigen, um sich festzuhalten.

In Laborexperimenten mit Zweipunkt-Marienkäfern (*Adalia bipunctata*) zeigte sich, dass die Wachsschichten die Haftkraft der Insekten im Vergleich zu einem herkömmlichen Glas oder der entwachsten Kanne wand entscheidend verringerten. Die Max-Planck-Forscher wollen sich die neuen Erkenntnisse aus dem Nanokosmos der Natur nun bei der Entwicklung von Antihafthüllen zu Nutze machen.



• Weitere Informationen erhalten Sie von: DR. ELENA GORB Max-Planck-Institut für Metallforschung, Stuttgart Tel.: + 49 711 6893-439 Fax: + 49 711 6893-412 E-Mail: o.gorb@mf.mpg.de

EPIDEMIOLOGIE

Keime reisen wie Scheine

Immer mehr Menschen reisen immer weiter: Das ist die Hauptursache dafür, dass sich moderne Seuchen so rapide ausbreiten können. Um diese Ausbreitung vorherzusagen, muss man daher wissen, welchen statistischen Gesetzmäßigkeiten das menschliche Reiseverhalten unterliegt. Dazu analysierten Dirk Brockmann und Theo Geisel vom Göttinger Max-Planck-Institut für Dynamik und Selbstorganisation sowie Lars Hufnagel von der University of California, Santa Barbara, die Daten einer amerikanischen Internetseite. Sie untersuchten anhand von Geldscheinen, wie häufig verschiedene Reiseentfernungen in verschiedenen Zeiträumen zurückgelegt werden und entdeckten dabei wichtige Gesetzmäßigkeiten. (NATURE, 26. Januar 2006)

Vor drei Jahren, als die neuen Geldscheine und Münzen in Umlauf kamen, war es nur ein harmloses Spiel. Wann sammeln sich die ersten spanischen, österreichischen oder irischen Euros im eigenen Portemonnaie? Wenn sich hingegen jetzt Wissenschaftler des Göttinger Max-Planck-Instituts für Dynamik und Selbstorganisation damit beschäftigen, wie schnell Geldscheine die Entfernung von einer amerikanischen Stadt zur nächsten zurücklegen, haben ihre Untersuchungen einen ersten Hintergrund: Genauso schnell wie Banknoten können Viren durch die Bewegung infizierter Individuen verbreitet werden.

Mit der wachsenden Mobilität der Menschen wächst auch die Bedrohung durch Seuchen. So brauchte die Pest im Mittelalter ungefähr drei Jahre, um den europäischen Kontinent zu durchqueren – ganz anders als vor zweieinhalb Jahren die sich rapide ausbreitende Lungenkrankheit SARS. Auch das Vogelgrippevirus könnten Reisende mit dramatischem Tempo über den Globus ver-

breiten, wenn es einmal von Mensch zu Mensch übertragbar sein sollte.

Damit Wissenschaftler vorhersagen können, wie schnell sich eine Seuche ausbreitet, müssen sie also das menschliche Reiseverhalten kennen. Indem die Physiker aus Göttingen und Santa Barbara zu einem simplen, aber verblüffenden Trick griffen, können sie mit einer mathematischen Theorie jetzt beschreiben, wie Menschen reisen: Sie werteten die Daten einer amerikanischen „Bill-Tracking“-Webseite aus: Auf dieser können Internetnutzer zum Spaß den momentanen Ort eines zuvor markierten Geldscheins angeben und dessen weiteren Weg verfolgen. Aus den Bewegungen der Banknoten ermittelten die Wissenschaftler, welche Entfernungen wie häufig zurückgelegt wurden. Dabei entdeckten sie, dass dem menschlichen Reiseverhalten Skalierungsgesetze zugrunde liegen.

Ein Beispiel illustriert deren Bedeutung: Wenn bekannt ist, wie häufig innerhalb einer Woche oder in einem bestimmten anderen Zeitraum Entfernungen von 10 und 100 Kilometern zurückgelegt werden, erlaubt das Skalierungsgesetz eine Voraussage darüber, wie wahrscheinlich es ist, dass jemand auch die Entfernung von tausend Kilometern zurücklegt. Das Entscheidende an der Geldschein-Methode: Sie gestattet die Analyse des Reiseverhaltens auf ganz verschiedenen Entfernungsskalen, unabhängig vom benutzten Verkehrsmittel. Sowohl Flüge von New York nach Florida oder Kalifornien als auch die Fahrt zum Supermarkt oder der Besuch im 20 Kilometer entfernten Football-Stadion wurden von der Untersuchung erfasst.

Wer bisher die Ausbreitung einer Infektionskrankheit mathematisch beschreiben wollte, war an einem bestimmten Punkt auf Spekulation angewiesen: Da das Reiseverhalten nicht bekannt war, wurde angenommen, dass sich Krankheitserreger diffusiv ausbreiten – ähnlich feinsten Staubpartikeln auf einer Wasseroberfläche. Daraus ergibt sich die wellenförmige Ausbreitung einer Seuche, etwa der Pest im Mittelalter.

Für moderne Seuchen gilt das jedoch nicht mehr, wie die Untersuchungen der Göttinger Wissenschaftler ergeben haben. Mithilfe der Geldscheinmethode haben sie einen wichtigen Unsicherheitsfaktor beseitigt, der es bislang erschwerte, die Ausbreitung von Seuchen zu beschreiben. Dirk Brockmann vom Göttinger Max-Planck-Institut für Dynamik und Selbstorganisation sagt dazu: „Die Konsequenz unserer Untersuchungen ist, dass zur Beschreibung der geografischen Ausbreitung moderner Seuchen neuartige theoretische Konzepte entwickelt werden müssen.“

Die Bewegung von Geldnoten in den USA. Jede Linie symbolisiert die Reise eines einzelnen Geldscheins zwischen einem Anfangsort (Seattle: blau, New York: gelb, Houston: rot), und verschiedenen Zielorten. Jede Geldnote war weniger als eine Woche unterwegs.



Foto: MPI für Dynamik und Selbstorganisation



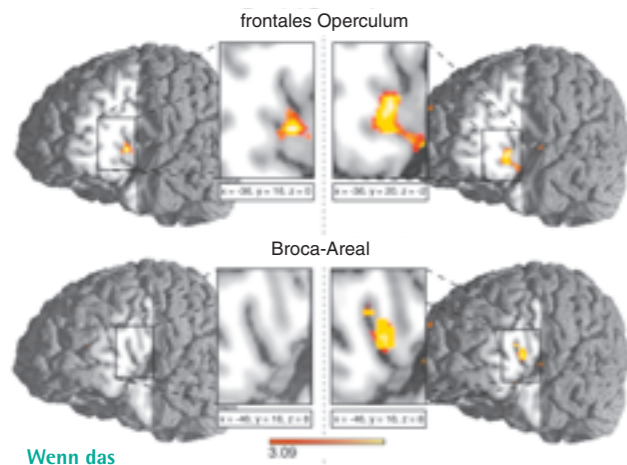
• Weitere Informationen erhalten Sie von: DR. DIRK BROCKMANN Max-Planck-Institut für Dynamik und Selbstorganisation, Göttingen Tel.: + 49 551 5176-411 Fax: + 49 551 5176-409 E-Mail: brockmann@ds.mpg.de www.filme.mpg.de

KOGNITIONSWISSENSCHAFTEN

Grammatik – eine späte Kopfgeburt

Warum verstehen wir Menschen komplizierte Sätze, unsere nächsten Verwandten, die Affen, dagegen nur einzelne Wörter? Der Grund für diese unterschiedliche Begabung liegt wahrscheinlich in der Evolution des Gehirns von Affen und Menschen. Am Leipziger Max-Planck-Institut für Kognitions- und Neurowissenschaften haben Forscher um Angela D. Friederici und Jörg Bahlmann zwei Areale im menschlichen Gehirn aufgespürt, die für verschiedene Verarbeitungsleistungen der Sprache zuständig sind. Die Forscher fanden heraus, dass einfache Sprachstrukturen in einem evolutionär älteren Hirnareal verarbeitet werden, über das auch Affen verfügen. Komplizierte Strukturen jedoch aktivieren Prozesse in einem entwicklungs geschichtlich jüngeren Gehirnbereich, den nur Menschen besitzen. (PNAS, 6. Februar 2006)

FOTOS: MPI FÜR KOGNITIONS- UND NEUROWISSENSCHAFTEN



Wenn das Gehirn komplexe sprachliche Regeln verarbeitet, sind mehr und entwicklungs geschichtlich neuere Hirnareale aktiv als bei der Umsetzung einfacher Regeln. Das frontale Operculum (oben) ist beim Verarbeiten beider Regeltypen beteiligt; das Broca-Areal (unten) wird hingegen nur bei komplexen Regeln hinzugezogen.

Die Fähigkeit, Sprache zu verstehen und zu erzeugen unterscheidet den Menschen wesentlich von nichtmenschlichen Primaten. Generell teilt man die Sprache in grundlegende grammatikalische Muster auf. Das heißt: Man zerlegt die verbale Verständigung in die richtige Zusammenstellung von wahrscheinlichen Wortverbindungen, etwa Artikel und Substantiv. Das Verstehen längerer Sätze erfordert dagegen ein komplexes sprachliches Strukturmodell. Dabei werden hierarchische Abhängigkeiten zwischen Satzverbindungen gebildet, wie etwa ein eingeschobener Nebensatz.

Nichtmenschliche Primaten sind zwar in der Lage, Regeln mit lokalen Verknüpfungswahrscheinlichkeiten zu begreifen, sie können aber keine hierarchischen Satzkonstrukte verarbeiten. Das haben Wissenschaftler in den USA an Tamarin-Äffchen bereits nachgewiesen. Dieses Ergebnis veranlasste die Leipziger Max-Planck-Forscher nun zu der Annahme, dass komplexe grammatische Regeln von Bereichen im Gehirn verarbeitet

werden, die entwicklungs geschichtlich so jung sind, dass sie bei den gemeinsamen Vorfahren von Affe und Mensch noch nicht existiert haben können. Ihrer Vermutung gingen die Forscher in einem funktionellen Kernspintografie-Experiment an Menschen nach.

Dazu erzeugten die Wissenschaftler künstliche Grammatiken mit sinnlosen, aber strukturierten Silben. Die Aneinanderreihung erfolgte entweder gemäß der einfachen Regel der Verknüpfungswahrscheinlichkeit oder der komplexen hierarchischen Satzbauregel. Im Gegensatz zu natürlich gesprochener Grammatik hat die künstliche Grammatik den Vorteil, dass andere Strukturelemente der Sprache, etwa die Bedeutung der Wörter oder ihre korrekte Betonung, keine zusätzlichen Einflüsse auf den neurologischen Verarbeitungsprozess im Gehirn nehmen.

Um nun herauszufinden, wie das Gehirn einfache Strukturelemente und komplexe Verknüpfungen verarbeitet, untersuchten die Wissenschaftler die Gehirnaktivität zweier Gruppen von Versuchspersonen. Die eine Gruppe trainierte die einfache Verknüpfungswahrscheinlichkeit, die andere Gruppe die schwierigere hierarchische Verknüpfung. Während der anschließenden Kernspintografie-Untersuchung wurden den Probanden Abfolgen von Silben über einen Bildschirm präsentiert, die gemäß den zuvor erlernten Grammatikrichtlinien richtig oder fehlerhaft waren. Auf diese Weise konnten die Forscher das Anwendungsvermögen der gelernten Regeln testen.

Beim Verarbeiten beider Regeltypen stellten die Wissenschaftler Aktivitäten in einem menschengeschichtlich älteren Hirnareal, dem so genannten frontalen Operculum, fest. Eine jüngere Hirnstruktur, das Broca-Areal, wurde jedoch nur aktiv, wenn die Versuchspersonen hierarchische Regeln verarbeiteten. Zudem untersuchten die Forscher die Verknüpfungen der beiden Areale. Das frontale Operculum ist über Faserverbindungen mit dem vorderen Bereich des Schläfenlappens verknüpft, das Broca-Areal dagegen ist mit den oberen hinteren Bereich des Schläfenlappens verbunden.

„Werden also einfache Sprachregeln vom Gehirn verarbeitet, wie dies beim Affen offenbar auch der Fall ist, so wird das stammesgeschichtlich ältere Areal im Gehirn aktiviert“, erklärt Angela Friederici. „Beim Anwenden komplexer Strukturen, die ein Affe nicht beherrscht, wird dagegen ein moderneres Sprachzentrum aktiviert.“ Die Leipziger Max-Planck-Forscher wollen nun in einem nächsten Schritt die unterschiedlichen Verknüpfungen der Hirnareale zum Schläfenlappen untersuchen und herausfinden, welche Bedeutung sie im Detail für die Sprachverarbeitung haben.

@ Weitere

Informationen

erhalten Sie von:

PROF. ANGELA FRIEDERICI

UND JÖRG BAHLMANN

Max-Planck-Institut

für Kognitions- und

Neurowissenschaften,

Leipzig

Tel.: + 49 341

9940-112

Fax: + 49 341

9940-260

E-Mail: jaenichen@

cbs.mpg.de

Panorama

AKTIVITÄTSMUSTER IM GEHIRN, hervorgerufen durch elektrische Mikrostimulation, haben Forscher am Tübinger Max-Planck-Institut für biologische Kybernetik nun erstmals präzise kartiert. Sie nutzten dafür die funktionelle Magnetresonanztomografie, kurz fMRT: Sie gestattet, die lokal unterschiedliche Sauerstoffsättigung des Bluts zu erfassen – und damit die Aktivität von Nervenzellen im engeren oder weiteren Umfeld eines über Mikroelektroden gereizten Hirnareals. Wie erste Befunde an Primaten zeigten, fließen die Reizströme nicht nur passiv von der Elektrode in deren unmittelbare Umgebung, sondern wirken über horizontale Verbindungen auch auf entferntere, vom Reizort getrennte und lokal umschriebene Areale der Hirnrinde. Die Kombination von Mikrostimulation und fMRT könnte demnach helfen, funktionale Verknüpfungen innerhalb des Gehirns aufzudecken und auch die Behandlung bestimmter neurologischer Krankheiten – etwa Morbus Parkinson – durch gezieltere elektrische Mikrostimulation zu verbessern.

HINTER DER DUNKLEN MATERIE stecken möglicherweise bislang unbekannte Elementarteilchen. Forscher des Max-Planck-Instituts für Radioastronomie in Bonn und von der University of California in Los Angeles schließen aus theoretischen Betrachtungen, dass der rätselhafte Stoff aus sterilen Neutrinos besteht. Bislang hielten Physiker so genannte *Wimps* (*weak interacting massive particles*) für die aussichtsreichsten Kandidaten, um die Dunkle Materie zu erklären. Die sterilen Neutrinos hätten nur rund ein Millionstel der Masse, die *Wimps* mit sich herumschleppen. Mit den sterilen Neutrinos könnten Physiker auch einige weitere ungeklärte Phänomene deuten: So könnte eine Sternexplosion die Partikel ins All schleudern und dabei der übrig gebliebenen stellaren „Leiche“ (Neutronenstern) einen so starken Kick verleihen, dass sie mit hoher Geschwindigkeit ins All jagt. Die sterilen Neutrinos könnten zudem die Geburt der ersten Sterne beschleunigt haben; ihr Zerfall hat womöglich indirekt dafür gesorgt, dass sich das junge Universum schneller abkühlt. So hätte es früher jene Temperatur erreicht, bei der Sterne entstehen.

DAS NOTRUF-GEN DES MAIS haben Forscher des Max-Planck-Instituts für chemische Ökologie in Jena und der Universität Neuchâtel (Schweiz) aufgespürt: Dieses Gen trägt die Bauanleitung für ein Enzym, mit dessen Hilfe Maispflanzen, die von Raupen befallen sind, bestimmte Duftstoffe produzieren und freisetzen. Diese Duftstoffe locken parasitische Wespen an, die ihre Eier in die Raupen ablegen – und die Brut der Wespen nährt sich dann von den Raupen und befreit damit den Mais von seinen Fraßfeinden. Tatsächlich genügt ein einziges Gen, um diese „indirekte Verteidigung“ in



Gang zu setzen. Denn als dieses Gen von Mais auf Pflanzen der Ackerschmalwand übertragen wurde, produzierten diese ebenfalls die Wespenlockstoffe. Allerdings, und das war überraschend, flogen auf die manipulierten Pflanzen nur solche Wespen, die den Duft bereits von Mais her kannten und damit ihre Eiablage an Raupen assoziierten.

XENA IST GRÖßER ALS PLUTO – und demnach könnte dieser Himmelskörper, der 2005 im Randbereich des Sonnensystems geortet wurde und offiziell als UB313 firmiert, als zehntes Mitglied in den Kreis der Planeten nachrücken. Forscher des Bonner Max-Planck-Instituts für Radioastronomie und der Universität Bonn konnten anhand der Wärmestrahlung von UB313 und dessen Entfernung zur Sonne – an die 15 Milliarden Kilometer – die Abmessungen dieses Objekts ermitteln. Demnach misst Xena etwa 3000 Kilometer im Durchmesser, 700 Kilometer mehr als Pluto, und kann damit durchaus den Status eines Planeten beanspruchen. Zugleich wird der Verdacht gestützt, dass jenseits von Pluto noch weitere große Brocken ihrer Entdeckung harren – als aufschlussreiche Zeugnisse aus der Entstehungszeit unseres Planetensystems.

ORGANISCHE MATERIALIEN sollen elektronische Chips preiswerter machen. Doch gerade Moleküle, die sich besonders gut als Halbleiter eignen würden, sind meist schwer zu handhaben: Sie sind unlöslich und lassen sich auch nicht verdampfen. Wissenschaftler des Max-Planck-Instituts für Polymerforschung in Mainz haben jetzt eine Methode entwickelt, mit der sie solche Moleküle schonend verdampfen und sanft auf einer leitfähigen Oberfläche landen lassen können. Das Verfahren ist aus der Massenspektrometrie zwar schon längere Zeit bekannt, die Mainzer Forscher können damit jetzt aber größere Teilchenmengen als bislang verarbeiten. Ein weiterer Vorteil: Wenn die Moleküle sanft landen, reihen sie sich wie Dominosteine hintereinander auf und bilden so besonders leitfähige Schichten.

Maispflanzen schützen sich, indem sie die Feinde ihrer Feinde locken: Auf dem Blatt sitzen Raupen, die sich von Mais ernähren, sowie eine parasitische Wespe, welche die Raupen angreift.



www

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