



# FORSCHUNG aktuell



Zebravogel-  
spinne *Aphonopelma seemanni*  
aus Costa Rica.

## BIONIK

### Haare mit unbeschränkter Haftung

Haarige Spinnen, die Wände hochkrabbeln: Was den meisten Menschen Schauer über den Rücken treibt, fasziniert Wissenschaftler des Max-Planck-Instituts für Metallforschung in Stuttgart. Nun haben sie entdeckt, dass Zebravogelspinnen (*Aphonopelma seemanni*) Klebefäden an den Beinen produzieren, die ihnen an glatten, steilen Flächen Halt geben. Damit verfügen die Spinnen über drei Haftmechanismen: neben den Klebefäden auch über winzige Krallen und sehr feine Mikrohärchen. Letztere interessieren die Stuttgarter Forscher ebenfalls. Inspiriert von solchen Mikrohärchen – wenn auch von Käfern – haben die Wissenschaftler zusammen mit der Gottlieb Binder GmbH ein effizientes Haftmaterial nach dem biologischen Vorbild entwickelt. Das Material hat sich sogar schon als Schuhsohle für Kletterroboter bewährt. (NATURE, 28. September 2006, und JOURNAL OF THE ROYAL SOCIETY INTERFACE, 17. Oktober 2006)

Foto: Max-Planck-Institut für Metallforschung

Spinnen erklimmen scheinbar mühelos glatte, senkrechte Wände und setzen ihren Spaziergang auch an der Decke noch fort. Extrem dünne Härchen verleihen ihnen, aber auch Insekten und Geckos, diese bemerkenswerte Fähigkeit. Spinnenfüße haben zusätzlich noch feine hakenartige Krallen, die sich mit rauen Oberflächen verzahnen. Forscher des Max-Planck-Instituts für Metallforschung in Stuttgart haben nun entdeckt, dass die Zebravogelspinne *A. seemanni* auf sehr glatten Oberflächen einen weiteren speziellen Haftmechanismus anwendet – Spinnndrüsen an ihren Beinen produzieren seidene Klebefäden.

Der bislang unbekannte Klebemechanismus wirft auch ein neues Licht auf die entwicklungsgeschichtliche Entstehung von Spinnenseide. Vielleicht stellten die Vorfahren heutiger Spinnen die Seide nur an den Beinen als Hafthilfe her und verwendeten sie erst später für Netze. Erst ein Blick in die Gene, welche die Seidenproduktion steuern, wird dies abschließend klären. ►

Die Klebefäden sind jedenfalls aus demselben proteinhaltigen Material wie die Seide, aus denen viele Spinnen Netze knüpfen, allerdings sind sie deutlich feiner: Sie sind nur etwa ein viertel Mikrometer dünn und bis zu 2,5 Millimeter lang. Sie haften so zuverlässig, dass die Spinne die Polster mit den dichten Hafthärchen von der Oberfläche abhebt, wenn sie die Klebefäden absondert. Doch die Klebefäden nutzt die Spinne erst als letztes Mittel, um sich Halt zu verschaffen. Nach Möglichkeit verwendet sie ihre Hafthärchen, denn dafür muss sie ihre Seide nicht verschwenden.

Anders als Spinnen verlassen sich Insekten nach bisherigen Erkenntnissen allein auf ihre Mikrohärchen und haben deren Form optimiert. Besonders stark haften Haare, deren Enden sich spatel- oder pilzförmig verbreitern. Doch während das Klebe- und das Häkchenprinzip im Tesafilm und Klettverschluss schon lange technisch umgesetzt werden, tauchen die Mikrohärchen in unserem Alltag noch nicht auf. Jetzt haben Wissenschaftler um Stanislav Gorb das Prinzip der Mikrohärchen erstmals erfolgreich in einem künstlichen Haftmaterial nachgeahmt. Die Haftkraft der biomimetischen Struktur beruht auf Härchen, die wie winzige Pilze geformt sind. Nachdem die Forscher mehr als 300 verschiedene Insektenfüße untersucht hatten, entschieden sie sich für das Design von den Fußsohlen verschiedener Käferarten.

Fünf Quadratzentimeter des mikrostrukturierten Materials halten an Glaswänden mit glatten Oberflächen einige Kilogramm schwere Gegenstände; an der Decke allerdings bis zu zehnmal weniger Gewicht. Glatte Strukturen, also etwa Glas oder poliertes Holz, eignen sich gut als Un-

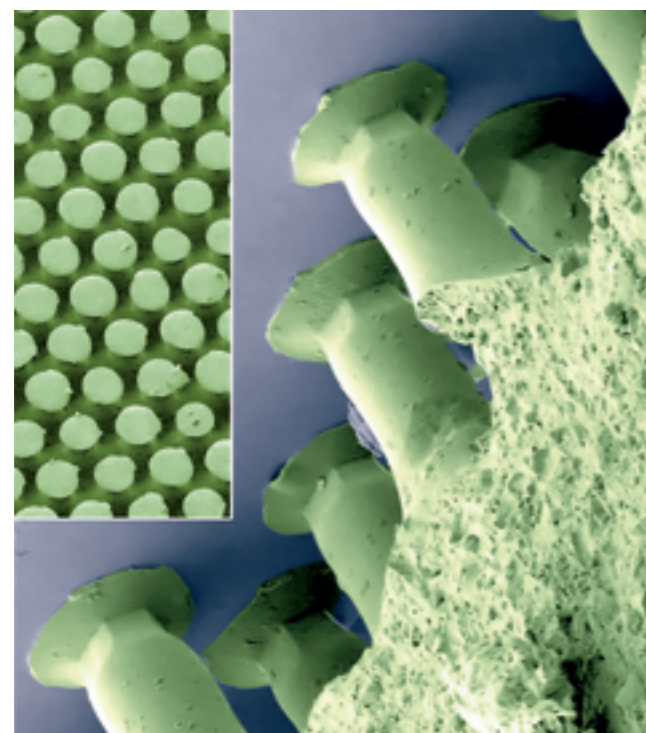
tergrund für solche Haftstreifen – Raufasertapete dagegen kaum. „Aber Insekten haben auch Schwierigkeiten, auf Oberflächen mit feiner Rauigkeit zu laufen, dies ist ein grundsätzliches Problem des Haftmechanismus“, erklärt der Projektleiter Stanislav Gorb. Nach dem Ablösen hinterlässt das Material auf der Oberfläche keine sichtbaren Spuren und haftet auch noch, nachdem es Hunderte Male angebracht und wieder abgerissen wurde. Wenn es verschmutzt ist, lässt es sich im Gegensatz zu Klebestreifen sogar waschen, ohne seine Haftkraft einzubüßen.

Verwenden lässt sich das haarige Haftmaterial unter anderem als Schutzfolie für empfindliche Gläser oder einfach als wiederverwendbarer Klebestreifen – Kühlschrankmagnete ade, jetzt kommen die Mikrohärchen, die zudem an Spiegel, Schrank und Scheibe halten. Auch in höheren Gewichtsklassen bewies das Material schon seine Leistungsfähigkeit: Ein 120 Gramm schwerer Roboter konnte mit den künstlichen Haftfasern an der Fußsohle eine senkrechte Glaswand ersteigen.

Bei der Herstellung dient – wie beim Kuchenbacken – eine Form als Vorlage, in die gleichsam als Negativbild die gewünschte Oberfläche eingepreßt ist. Die Wissenschaftler füllen ein polymerisierendes Gemisch hinein, lassen es aushärten und trennen anschließend den Kunststoff von der Vorlage. „Das klingt einfach, war aber das Ergebnis langen Rumprobierens“, sagt Gorb. Die Konstruktion der Mikrostruktur-Kuchenform forderte die Forscher dabei am meisten heraus – wie das genau funktioniert, bleibt Betriebsgeheimnis. Aber auch die Polymer-Mischung zu optimieren kostete die Wissenschaftler viel Geduld: Ist sie zu flüssig, fließt sie einfach aus der Form heraus. Ist sie zu viskos, gelangt sie gar nicht erst hinein.

Derzeit versuchen die Wissenschaftler das Material noch zu verbessern, indem sie die Strukturen verfeinern und etwa dafür sorgen, dass es auch unter Wasser haftet oder sich in eine Richtung verschieben lässt. „Da hat die Arbeitsgruppe noch jede Menge Arbeit vor sich, zumal sich noch lange nicht jede Weiterentwicklung großtechnisch umsetzen lässt, die im Labor funktioniert“, erläutert Stanislav Gorb.

Mit den Hafthärchen sind jetzt zwar alle Mechanismen, die Spinnen Halt geben, technisch umgesetzt. Trotzdem ist ihre Hafttechnik den künstlichen immer noch klar überlegen: Die Spinne kann nach Belieben zwischen den Methoden wechseln, je nachdem, über welchen Untergrund sie gerade läuft.



Mikroskopische Aufnahme der biomimetischen Oberflächenstruktur des neuen Haftmaterials. Das von Insektenfußsohlen inspirierte Material (grün) haftet an Glas (blau).

Foto: Max-Planck-Institut für Metallforschung

**Kontakt:**  
**DR. STANISLAV GORB**  
 Max-Planck-Institut  
 für Metallforschung,  
 Stuttgart  
 Tel.: +49 711  
 689-3414  
 Fax: +49 711  
 689-3412  
 E-Mail:  
 s.gorb@mf.mpg.de

ASTROPHYSIK

## Im galaktischen Maschinenraum

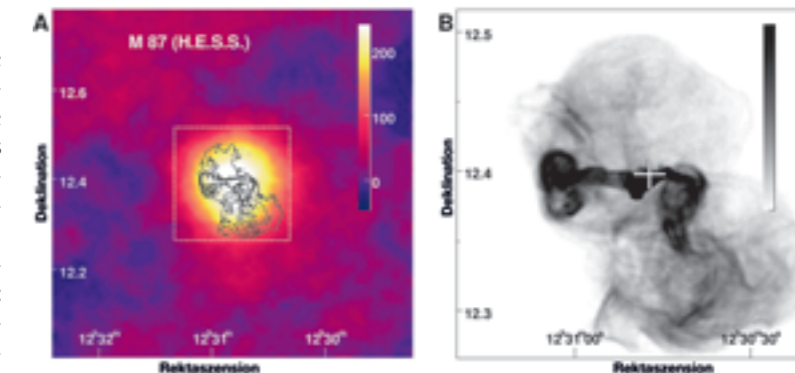
**Den Motor der Galaxie M87 haben Physiker der H.E.S.S.-Forschergruppe inspiziert: Das Konsortium, an dem auch das Max-Planck-Institut für Kernphysik in Heidelberg beteiligt ist, hat festgestellt, dass die unmittelbare Umgebung des Schwarzen Lochs im Zentrum der Radiogalaxie hochenergetische Gammastrahlen aussendet. Dies leiten die Forscher aus der Tatsache ab, dass sich die gemessene Intensität der Strahlung in wenigen Tagen drastisch ändert. Die Gammastrahlen müssen daher aus einer so kompakten Region wie dem unmittelbaren Zentrum stammen. Denn nur dann lassen sich die schnellen Schwankungen auf der Erde beobachten. Die Wissenschaftler bekommen so einen Einblick, welche Prozesse das Schwarze Loch als Motor in seiner unmittelbaren Nähe antreibt. (SCIENCE EXPRESS, 26. Oktober 2006)**

Gammastrahlen haben es in sich: Eine Million mal eine Million mal energiereicher als sichtbares Licht sind sie. Doch sie sind seltene Boten aus dem All. Selbst aus starken Quellen trifft nur etwa ein Gammaquant, ein Lichtteilchen der entsprechenden Energie, pro Quadratmeter und Monat auf die Erdatmosphäre. Und sie geben sich auch nur indirekt zu erkennen: Die H.E.S.S.-Teleskope in Namibia identifizieren sie anhand des Cherenkov-Licht – Licht, das ein von den außerirdischen Gammastrahlen ausgelöster Luftschauer erzeugt. Erste Anzeichen, dass M87 auch im Gamma-Licht glimmt, haben Astrophysiker schon 1998 mit den HEGRA-Teleskopen gefunden. „Die Messungen der H.E.S.S.-Teleskope stellen diese Ergebnisse nun auf eine solide Basis“, sagt Felix Aharonian, einer der beteiligten Wissenschaftler des Heidelberger Max-Planck-Instituts.

Mit der unmittelbaren Umgebung des Schwarzen Lochs in M87 hat das H.E.S.S.-Team nun eine bislang unbekannte Quelle der Strahlung ausgemacht. Bislang haben Astrophysiker Gammalicht dieser Energie nur von Blazaren nachgewiesen. Blazare nennen sie Galaxien, die zwei Bedingungen erfüllen: Zum einen muss ein supermassives Schwarzes Loch in ihrem Kern Materie ansaugen – ein Charakteristikum aller aktiven Galaxien. Zum anderen muss der Materie- oder Plasmaström, der die Umgebung des Schwarzen Lochs wieder verlässt, ziemlich genau auf die Erde gerichtet sein. Nur dann kommt nämlich die Gammastrahlung hier an, welche die annähernd mit Lichtgeschwindigkeit rasende Materie erzeugt. Denn relativistische Effekte bündeln sie stark in

Richtung des Plasmastroms. Da der relativistische Materiestrom der 50 Millionen Lichtjahre entfernten Radiogalaxie M87 nicht auf die Erde gerichtet ist, sinken die Chancen, die hochenergetischen Gammaquanten zu messen. Genau solche Quanten haben die Forscher des H.E.S.S.-Teams jetzt aber gemessen. Da sich die Intensität der Strahlung sehr schnell ändert, kommt der relativistische Materiestrom als Quelle jedoch nicht infrage: In wenigen Tagen nimmt sie mal zu und mal ab. Solche Schwankungen lassen sich nur beobachten, wenn das Licht von einem Ende der Quelle zum anderen auch nicht länger als ein paar Tage unterwegs ist.

„Dies ist nicht viel größer als der Ereignishorizont des supermassiven Schwarzen Lochs im Zentrum von M87“, sagt Matthias Beilicke, einer der beteiligten Wissenschaftler von der Universität



Links: Die Radio-Galaxie M87, wie sie H.E.S.S. im Bereich sehr hoher Energien beobachtet hat (Farbskala). Die schwarzen Linien geben die Struktur von M87 im Radiobereich wieder. Die gemessene Gammastrahlung wirkt ausgedehnt, was jedoch an der Messgenauigkeit der Teleskope liegt.

Rechts: Der Ausschnitt zeigt ein Bild von M87 im Radiobereich – bei Energien, die etwa 19 Größenordnungen niedriger als die der Gammastrahlen liegen. Das Kreuz markiert die Stelle, an der H.E.S.S. das Maximum der Gammastrahlung gemessen hat.

Hamburg. „Relativistische Effekte, die in den Blazaren, den bislang nachgewiesenen extragalaktischen Quellen, eine Rolle spielen, sollten im Fall von M87 von untergeordneter Bedeutung sein.“ Die hochenergetische Gammastrahlung stammt also höchstwahrscheinlich aus der unmittelbaren Umgebung des supermassiven Schwarzen Lochs im Zentrum von M87.

Wie genau die Gammastrahlen entstehen, wissen Physiker jedoch noch nicht. Vielleicht steckt dahinter sogar ein bislang unbekannter Mechanismus: So könnten Wasserstoffkerne in der Nähe eines rotierenden Schwarzen Lochs auf extreme Energien beschleunigt werden und dann Gammaquanten abstrahlen. „Mit H.E.S.S. bekommen wir einen klaren Einblick in die Prozesse, die im Maschinenraum einer Galaxie ablaufen“, sagt Felix Aharonian.

**Kontakt:**  
**DR. FELIX AHARONIAN**  
 Max-Planck-Institut  
 für Kernphysik  
 Heidelberg,  
 Tel.: +49 6221  
 516-485  
 Fax: +49 6221  
 516-601  
 E-Mail:  
 Felix.Aharonian@  
 mpi-hd.mpg.de

Bild: H.E.S.S., RadioBild: FN, OMERI ET AL. (2006)

## ZELLBIOLOGIE

## Mit der Kraft des neuen Herzens

Molche können etwas, wozu der Mensch nicht in der Lage ist: Wenn sie ein Bein verlieren, lassen sie Ersatz nachwachsen. Und selbst ein verletztes Herz regeneriert sich bei ihnen vollständig. Wissenschaftler des Max-Planck-Instituts für Herz- und Lungenforschung in Bad Nauheim wollen herausfinden, welche zellulären Mechanismen diese erstaunliche Heilung ermöglichen. Ein Ergebnis ihrer Untersuchungen: Die Herzmuskelzellen des Molchs sind ausgesprochen wandlungsfähig. Die Erkenntnisse könnten helfen, neue Zelltherapien für Patienten mit geschädigten Organen zu entwickeln. (JOURNAL OF CELL SCIENCE, 2006)

*Notophthalmus viridescens*, der Grünliche Wassermolch, ist eigentlich in den Feuchtgebieten Nordamerikas beheimatet. Aber auch in den Aquarien des Bad Nauheimer Instituts fühlt er sich recht wohl – hier gehört er zu den Lieblingstieren. An ihm studieren die Forscher um Thomas Braun, wie sich geschädigtes Herzgewebe erneuert und das Organ seine volle Kraft zurückgewinnt. Säugetiere besitzen diese Fähigkeit nicht. Daher vernarbt das Herz von Infarktpatienten und trägt einen dauerhaften Schaden davon.

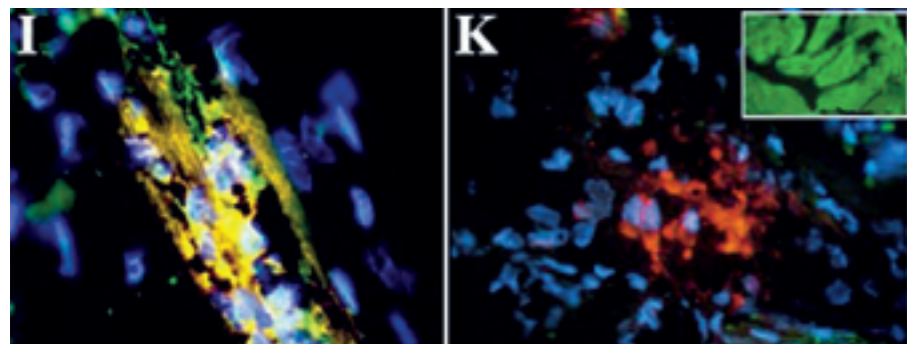
schiedene Troponine, dramatisch herunterreguliert werden“, sagt Braun. Gleichzeitig beginnen die Zellen, sich massiv zu teilen und so neue Herzmuskelmasse aufzubauen. Nach rund zwei Wochen schlägt das Molchherz, als wäre nichts gewesen. Klar, denn die muskelspezifischen Proteine werden wieder hergestellt, wie die Daten der Wissenschaftler zeigen. Die Zellen haben sich zu diesem Zeitpunkt also wieder differenziert.

In Kultur konnten Braun und seine Mitarbeiter bei einem Großteil der Zellen ein Protein namens Phospho-H3 nachweisen. Dieses Protein tritt in der G2-Phase des Zellzyklus auf und signalisiert, dass die Herzmuskelzellen wieder teilungsaktiv sind. Daraus schließen die Forscher, dass sich das Molchherz auch ohne die Hilfe von Stammzellen regeneriert. Ein verletztes Herz heilt aber offenbar nicht nach demselben Mechanismus wie ein abgerissenes Bein. Denn ein typisches Wundheilungsgewebe, ein Blastem, bildet sich dabei nicht. „Das Herz besitzt nur eine relativ kleine Anzahl verschiedener Zelltypen. Dies könnte ein Grund sein, weshalb für den Wiederaufbau von Herzgewebe kein Blastem notwendig ist“, erklärt Braun diesen Befund.

Blastemzellen können sich, ähnlich wie Stammzellen, in verschiedene Zelltypen differenzieren. Herzmuskelzellen sind prinzipiell wandlungsfähig genug, um auch Blastemzellen zu bilden – das zeigen zumindest die weiteren Untersuchungen der Bad Nauheimer Zellbiologen. Sie injizierten Herzmuskelzellen in ein nach Amputation neu auswachsendes Molchbein. In diesem Umfeld begannen sich die Herzmuskelzellen zu dedifferenzieren, bildeten aber gleichzeitig die für Blastemzellen typischen Proteine. Nach etwa 15 Tagen hatten sie sich schließlich zu Skelettmuskelzellen ent-

wickelt. In ein gesundes Molchbein gespritzt, machen die Herzmuskelzellen dagegen keine Wandlung durch. „Wir vermuten, dass das Signal für die Dedifferenzierung von Zellen des Wundheilungsgebietes ausgeht“, erklärt Braun. Möglicherweise ist ein Enzym – die *focal adhesion kinase* – daran beteiligt. Sie ist bei transplantierten Zellen phosphoryliert und damit aktiv. „Wenn wir diese Mechanismen genau verstehen, eröffnen sich vielleicht neue Wege für die Therapie von Herzinfarktpatienten“, hofft der Forscher. ●

**© Kontakt:**  
DR. MATTHIAS HEIL  
Max-Planck-Institut  
für Herz- und  
Lungenforschung,  
Bad Nauheim  
Tel.: +49 6032  
996-2822  
Fax: +49 6032  
705-211  
E-Mail: presse@  
kerckhoff.mpg.de



Links: Herzmuskelzellen, die in ein sich regenerierendes Bein gespritzt wurden, produzieren nach zwei Wochen Proteine, die typisch für Skelettmuskelzellen (grün) sind. Die Zellen wurden zuvor mit einem roten Farbstoff angefärbt, sodass in der Überlagerung die Farbe Orange entsteht. Rechts: Bereits zwei Tage nach der Injektion ist das Herzmuskelprotein Troponin T dagegen nicht mehr nachweisbar. Der Ausschnitt zeigt gesundes Herzgewebe an, in dem Troponin T grün angefärbt ist.

Dass *Notophthalmus viridescens* von solchen bleibenden Folgen eines geschädigten Herzens verschont bleibt, verdankt der Molch der Plastizität seiner Herzmuskelzellen. Darunter verstehen Biologen die Fähigkeit von Zellen, sich unter bestimmten Bedingungen zu verändern. Herzmuskelzellen verlieren nämlich, wenn das Organ verletzt ist, ihre charakteristischen Eigenschaften und dedifferenzieren sich. „Wir haben nachgewiesen, dass dabei typische Proteine von Herzmuskelzellen, etwa die schwere Myosinkette und ver-

FOTO: MPI FÜR HERZ- UND LUNGENFORSCHUNG

## QUANTENCHEMIE

## Partnervermittlung für Photonen

Zweimal grün macht einmal blau: Forscher des Max-Planck-Instituts für Polymerforschung in Mainz und des Sony Materials Science Laboratory in Stuttgart addieren zwei energiearme grüne Photonen zu einem energiereichen blauen, indem sie eine Lösung zweier lichtaktiver Substanzen mit grünem Licht bestrahlen. Diese Partnervermittlung funktioniert sogar für Photonen des Sonnenlichts; bislang ließ sich nur energiearmes Laserlicht in energiereicheres verwandeln. Photonen des Sonnenlichts paaren zu können, schafft die Voraussetzungen für eine neue Generation effizienterer Solarzellen. (PHYSICAL REVIEW LETTERS, 4. Oktober 2006)

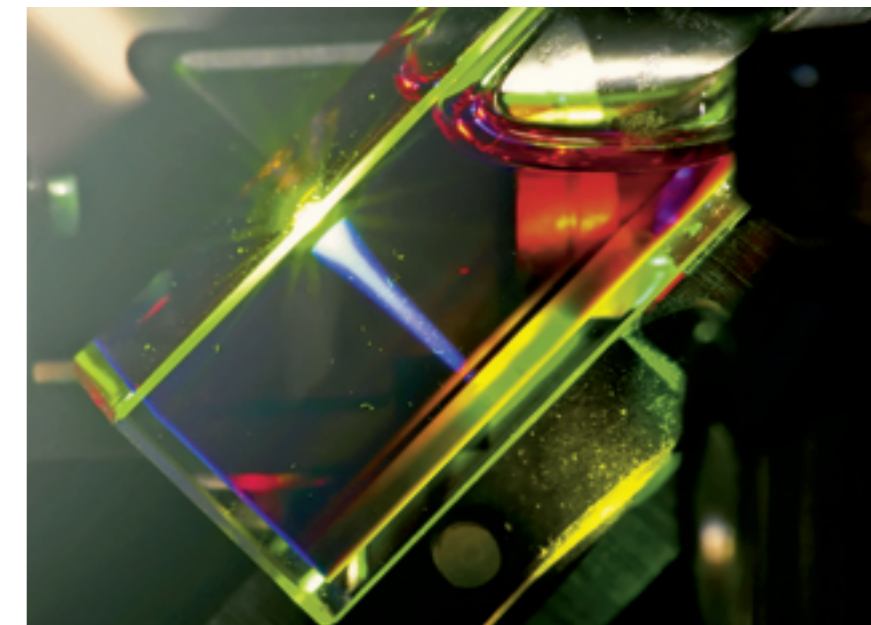
Solarzellen können energiearmes langwelliges Sonnenlicht nicht in Strom umsetzen – das beeinträchtigt ihren Wirkungsgrad drastisch. Wissenschaftlern des Mainzer Max-Planck-Instituts und des Stuttgarter Labors von Sony ist es jetzt gelungen, langwellige Photonen in energiereiche kurzwellige zu verwandeln; und das sogar wenn die Lichtteilchen aus einer gewöhnlichen Lichtquelle wie der Sonne stammen. Auf diese Weise könnten sie auch den bislang verlorenen Teil der Lichtenergie für Solarzellen nutzbar machen.

Die Forscher schickten langwelliges grünes Licht durch eine Lösung aus Platinocäthylporphyrin und Diphenylanthracen. Die beiden lichtaktiven Substanzen verkuppelten zwei grüne Photonen zu einem blauen. Bislang ließen sich nur die Photonen eines Laserstrahls paaren, wenn auch auf andere Weise: Unter dem Photonenbombardement eines Lasers nehmen manche Moleküle gleichzeitig ein energiereicheres auf. Da gewöhnliche Lichtquellen nicht intensiv genug strahlen, paaren sich ihre Photonen nur sehr unwahrscheinlich auf diese Weise.

Der jetzt entdeckte Cocktail aus zwei lichtaktiven Substanzen verkuppelt Photonenpartner aus gewöhnlichen Lichtquellen denn auch nach einem anderen Mechanismus: der Triplett-Annihilierung. Die Moleküle des Platinocäthylporphyrins dienen dabei als Antennen für grünes Licht. Sie speichern die Lichtenergie in angeregten Zuständen und geben sie anschließend an das Diphenyl-

thracen weiter, was diese Emitter-Moleküle ebenfalls in einen angeregten Zustand befördert.

Stoßen nun zwei angeregte Diphenylanthracen-Moleküle zusammen, gibt das eine seine Energie an das andere ab, das daher in einen noch energiereicheren Zustand gelangt. Dieser zerfällt jedoch rasch wieder und sendet dabei ein blaues Photon aus. Obwohl dieses Lichtteilchen energiereicher ist als das anfangs eingestrahlte grüne Licht, wird un-



Dass sich Photonen gepaart haben, geben sie an ihrer Farbe zu erkennen. Als grünes Licht strömen sie in die Lösung hinein und kommen als blaues heraus.

term Strich keine Energie erzeugt. Vielmehr wird die Energie von zwei Photonen auf eines vereint.

Damit die beiden lichtaktiven Substanzen das leisten können, müssen die Chemiker sie fein aufeinander abstimmen. Vor allem müssen die angeregten Moleküle die Energie lange genug speichern und dürfen sie nicht auf anderen Wegen als der Triplett-Annihilierung abgeben. Dafür eignete sich nur eine komplexe, metallorganische Verbindung, die ein Platinatom in einem aromatischen Porphyrinring enthält. Das Emitter-Molekül wiederum muss die Energiepakete von den Antennen-Molekülen übernehmen und so lange halten können, bis es einem weiteren angeregten Emitter-Molekül begegnet.

Das Forscherteam sucht nun nach weiteren Substanzen, die diese Anforderungen erfüllen und Photonen anderer Farben miteinander verkuppeln. So möchten sie die Energie des gesamten Sonnenspektrums nutzbar machen. Gleichzeitig versuchen sie die lichtaktiven Substanzen in eine Polymermatrix zu integrieren, um den Prozess einer Anwendung näher zu bringen. ●

**© Kontakt:**  
STANISLAV BALOUCHEV  
Max-Planck-Institut  
für Polymerforschung,  
Mainz  
Tel.: +49 6131  
379-485  
Fax: +49 6131  
379-100  
E-Mail: balouche@  
mpip-mainz.mpg.de

FOTO: MAX-PLANCK-INSTITUT FÜR POLYMERFORSCHUNG

## EVOLUTIONS BIOLOGIE

## Die erste Million ist sequenziert

Trafen der moderne Mensch und der Neandertaler irgendwann aufeinander und entstanden dabei vielleicht sogar fortpflanzungsfähige Nachkommen? Das ist eine der Fragen, die die Wissenschaftler um Svante Pääbo vom Max-Planck-Institut für evolutionäre Anthropologie in Leipzig beantworten wollen. Mit einer in den USA neu entwickelten Technik haben sie begonnen, die DNA unseres nächsten ausgestorbenen Verwandten zu entziffern – und zwar die erste Million Basenpaare. In zwei Jahren soll eine Rohfassung des gesamten Neandertaler-Genoms vorliegen und dann Informationen darüber liefern, welche genetischen Veränderungen auf dem Weg zum Homo sapiens entscheidend gewesen sind. (NATURE, 16. November 2006)



Die Knochen dieses Neandertalers wurden im französischen La-Chapelle-aux-Saints gefunden und sind etwa 45000 Jahre alt.

Als 1856 die ersten Neandertalerknochen zutage kamen, warfen sie Fragen vor allem nach dem Ende der Neandertaler auf, die noch heute heiß diskutiert werden. Um diese zu klären, war man lange Zeit darauf angewiesen, in dunklen Höhlen im Dreck der Jahrtausende nach fossilen Überresten des Vormenschen zu suchen. Wissenschaftler des Max-Planck-Instituts für evolutionäre Anthropologie in Leipzig und der US-amerikanischen 454 Life Sciences Corporation folgen nun einer neuen Strategie: Wie bei einem riesigen Puzzle wollen sie aus fossilen DNA-Stückchen das ganze Genom des Neandertalers zusammenbauen. Die ersten eine Million Basenpaare sind jetzt entschlüsselt – etwa 0,04 Prozent des gesamten Genoms.

Der direkte Vergleich zwischen Neandertaler, Mensch und Schimpanse zeigt, dass von den genetischen Veränderungen zwischen Mensch und Schimpanse nur etwa sieben Prozent auftraten, nachdem sich die menschliche Linie von der des Neandertalers getrennt hatte. Umso spannender ist die Frage, was diese geringen genetischen Unterschiede bewirken, wie sich also unsere Vorfahren

unter dem Einfluss von wenigen Genmutationen auseinanderentwickelten. „Die Genomsequenz des Neandertalers könnte Hinweise auf Regionen in unserem eigenen Genom liefern, die sich seit der Trennung vom Neandertaler vor etwa 500000 Jahren besonders stark verändert haben“, so Pääbo. „Solche Regionen standen mit großer Wahrscheinlichkeit unter positiver Selektion und könnten von daher eine entscheidende Rolle bei der Entstehung des modernen Menschen gespielt haben.“

Gleich einem prähistorischen Protokoll kann die DNA berichten, wie sich die Abstammungslinien von Mensch und Neandertaler vor 500000 Jahren zunächst aufspalteten und dann vor etwa 45000 Jahren wieder trafen. Zurzeit verdichten sich die Hinweise, dass es zumindest hin und wieder zu genetischen Durchmischungen kam. Die Arten waren offenbar nicht so klar getrennt wie bisher angenommen. Die Forscher fanden Indizien dafür, dass sich vor allem männliche Vertreter des modernen Menschen auf Affären mit Neandertaler-Frauen eingelassen haben müssen. In etwa 30 Prozent aller Fälle teilt der Neandertaler eine neue Genvariante mit dem modernen Menschen – dieser Wert ist zu hoch, um sich mit den bisherigen Vorstellungen einer einfachen Aufspaltung der Populationen vereinbaren zu lassen. Und da die Unterschiede im X-Chromosom des Neandertalers sehr viel größer sind als bei den Autosomen – also den Chromosomen, die nicht Geschlechtschromosomen sind –, spekulieren die Forscher, dass der Genfluss vor allem von männlichen Vertretern des modernen Menschen hin zum Neandertaler erfolgt ist. Um diese Möglichkeit zu prüfen, bedarf es allerdings noch einer ausgiebigeren Sequenzierung des Neandertaler-Genoms.

Doch dass ihre Methode funktioniert, haben Svante Pääbo und sein Team erst einmal eindrucksvoll gezeigt. Die Sequenzierung fossiler DNA ist ein extrem aufwendiger Prozess, und lange Zeit schienen die Hürden unüberwindlich: Genau wie alte Schriften unter dem Zahn der Zeit zerfallen, wird auch DNA brüchig. Darüber hinaus ist sie stets mit sehr viel Fremd-DNA von Bakterien und Pilzen kontaminiert, die den Körper nach seinem Tod besiedeln – oder von jenen Personen, die mit den Fossilien arbeiten. Weil menschliche DNA und Neandertaler-DNA einander so ähnlich sind, aber gerade die feinen Unterschiede zwischen beiden festgestellt werden sollen, ist es besonders fatal, wenn menschliche DNA an den Knochen hängt. Doch die 38000 Jahre alten fossilen Knochen aus der Vindija-Höhle in Kroatien waren für die Leipziger Forscher ein Glücksfall – von den gut sechs Prozent hominider DNA stammten 99 Prozent tatsächlich vom Neandertaler und nicht von Verunreinigungen durch Forscherhände. ●

**@ Kontakt:**  
SANDRA JACOB  
(Pressebeauftragte)  
Max-Planck-Institut  
für evolutionäre  
Anthropologie, Leipzig  
Tel.: +49 341  
3550-122  
Fax: +49 341  
3550-119  
E-Mail:  
info@eva.mpg.de

## ATOMPHYSIK

## Ordnung in einer atomaren Schafherde

Elektronen oder Atome lassen sich innerhalb von Atomstrukturen ähnlich wie Schafe in einem Pferch einsperren – das ist nicht neu. Jetzt haben Physiker am Max-Planck-Institut für Mikrostrukturphysik in Halle aber entdeckt, wie sie die Herde dazu bringen, sich ordentlich aufzustellen: Wenn sie dem atomaren Gatter die richtige Form geben und Unterlage, Temperatur sowie einige weitere Parameter passend wählen, ordnen sich zufällig aufgedampfte Atome in dem Gatter von selbst in regelmäßigen Strukturen an. (PHYSICAL REVIEW LETTERS, 2. November 2006)

Muster aus Elektronen zu formen ist das Ziel einiger Forschergruppen weltweit. Sie möchten die Leitungselektronen – also die Elektronen, die den elektrischen Strom fließen lassen – auf der Oberfläche bestimmter Materialien in regelmäßige Strukturen zwingen, indem sie gezielt Atome auf die Oberfläche pflanzen. Auf diese Weise wollen die Wissenschaftler das Wachstum dünner Materialfilme beeinflussen: Dampfen sie neue Atome – sogenannte Adatome – auf solche Elektronenstrukturen auf, lagern sich die Adatome in manchen Gegenden lieber als in anderen an: Welche Gebiete sie bevorzugen, hängt davon ab, wo die jeweilige Elektronendichte sie anzieht oder abstößt. Physiker hoffen, mithilfe maßgeschneiderter Elektronendichten dünne Materialfilme mit vorgegebenen Eigenschaften erzeugen zu können.

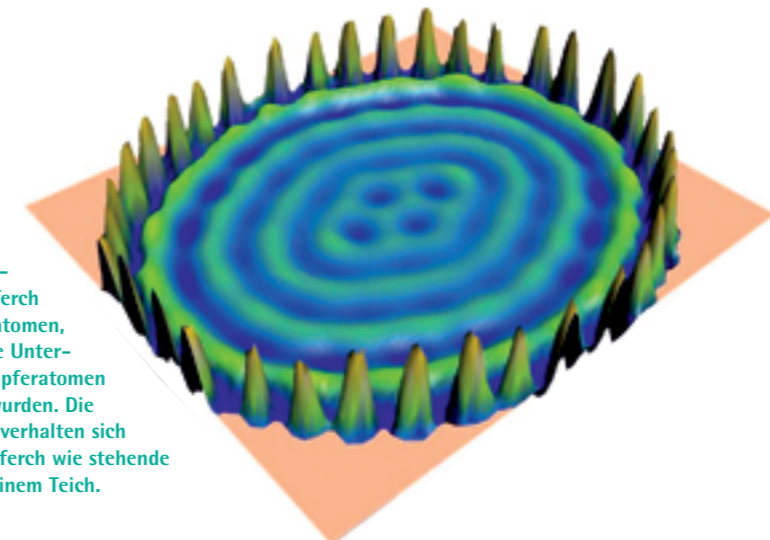
Die Forscher am Max-Planck-Institut für Mikrostrukturphysik in Halle untersuchten zusammen mit Physikern der Universitäten Halle und Santiago de Compostela in Spanien nun eine besondere Form der Elektronenstruktur: Sie betrachteten Elektronen in einer dicht geschlos-

sen Ellipse aus Kobaltatomen auf einem Kupfer-Untergrund. Die Leitungselektronen kann man sich wie ein Gas oder eine Flüssigkeit vorstellen; im runden Atompferch bilden sie stehende Wellen aus, ähnlich wie Wasserwellen in einem kleinen Teich.

Die Physiker simulierten, wo sich zusätzlich aufgedampfte Kobaltatome in dem Pferch anordnen würden. Dabei mussten sie berücksichtigen, dass die neuen Atome sowohl mit den Kobaltatomen des Gatters als auch den eingesperrten Elektronen interagieren. Ihren Rechnungen zufolge rutschen die Kobalt-Adatome dann bevorzugt zu Stellen mit hoher Elektronendichte. Denn hier brauchen die Atome weniger Energie als an Stellen mit niedriger Elektronendichte, um sich abzulagern. Für Ordnung im Pferch können die Physiker in ihren Simulationen aber nur sorgen, wenn die Rate der aufgedampften Adatome stimmt, die Temperatur niedriger als 253 Grad Celsius unter null liegt und der Pferch dicht genug ist.

Die Kobalt-Adatome ordnen sich so entsprechend den Wellen im Elektronenteich auf Ellipsen an. Mit Adatomen, die sich bei tiefen Temperaturen leichter bewegen können – etwa Atomen des Elementes Cer – und einer kreisrunden Absperzung konnten die Forscher im Computer sogar regelmäßige Strukturen auf den Kreisen selbst erzeugen; etwa so, als ließen sie zufällig eine atomare Schafherde in einen Pferch laufen, die sich dann brav in gleichmäßigen Abständen auf konzentrischen Kreisen aufstellt.

Nun möchten die Wissenschaftler die Ergebnisse der Simulationen auch im Experiment nachweisen. Sie sind zuversichtlich, dass ihnen dies mit gängiger Rasterkraftmikroskopie gelingt. So würden sie neue Wege eröffnen, um dünne Filme zu erzeugen. ●



Ein ellipsenförmiger Pferch aus Kobaltatomen, die auf eine Unterlage aus Kupferatomen gepflanzt wurden. Die Elektronen verhalten sich in diesem Pferch wie stehende Wellen in einem Teich.

**@ Kontakt:**  
PROF. DR.  
PATRICK BRUNO  
Max-Planck-Institut  
für Mikrostruktur-  
physik, Halle  
Tel.: +49 345  
5582-763  
Fax: +49 345  
5582-765  
E-Mail:  
bruno@mpi-halle.de

## VERHALTENSBIOLOGIE

## Zu zahm für diese Welt

Meeresechsen auf den Galápagosinseln leben ohne Feinde – zumindest war das bis vor etwa 150 Jahren so. Seitdem müssen sie sich auf einigen Inseln des Archipels mit Hunden und Katzen auseinandersetzen. Thomas Rödl vom Max-Planck-Institut für Ornithologie, seine Kollegin Silke Berger von der Universität Ulm sowie Michael Romero von der Tufts University und Martin Wikelski von der Princeton University wollten herausfinden, ob die in der Regel wenig scheuen Tiere in der Lage sind, ihr Verhalten und die von Hormonen vermittelte Stressantwort auf einen solchen neu auftretenden Feind einzustellen. (*Proceedings of the Royal Society of London*, FIRSTCITE EARLY ONLINE PUBLISHING, Dezember 2006)



Meeresechse auf Galápagos.

Die Forscher besuchten daher die Forschungsplattform der Max-Planck-Gesellschaft auf den Galápagosinseln. In der Ausgabe 1/2003 der MAXPLANCKFORSCHUNG schilderte Thomas Rödl die umfangreichen Reisevorbereitungen und seine ersten Eindrücke. Nach wie vor sind die Inseln im Pazifischen Ozean ein Dorado für Evolutionsbiologen. Aber es zieht nicht nur Wissenschaftler dorthin, auch immer mehr Touristen besuchen jedes Jahr diesen einzigartigen Archipel: 2005 waren es rund 126000. Tendenz weiter steigend. Das Problem: Die vielen Menschen stören nicht nur manche auf den Galápagos lebende Tierarten, sie schleppen auch andere Tier- und Pflanzenarten ein, die in der lokalen Flora und Fauna großen Schaden anrichten.

Rödl und seine Kollegen wollten herausfinden, inwieweit sich Meeresechsen aus unterschiedlichen Populationen und mit unterschiedlichen Er-

fahrungen mit Beutegreifern in ihrer Stressantwort und in ihrem Verhalten unterscheiden. Sie führten dazu sogenannte Harassment-Experimente durch, indem sie die Fluchtdistanz des Tieres maßen, es immer wieder über kurze Strecken jagten und anschließend einfingen, um den Kortikosteron-Spiegel im Blut zu messen. Wenn das Tier die Situation als bedrohlich, also stressvoll empfindet, dann steigt die Konzentration des Hormons Kortikosteron im Blutplasma innerhalb weniger Minuten an.

Die Forscher untersuchten verschiedene Inselpopulationen: Meeresechsen, die keinen Feinddruck kennen, ließen eine Annäherung bis auf ein, zwei Meter zu und zeigten auch bei anhaltender Verfolgung keinen Anstieg in der Stressantwort. Bei Meeresechsen, die Beutegreifer zwar kennen, aber einem geringeren Risiko ausgesetzt sind, führte erst das Einfangen zu einem Anstieg in der Kortikosteroid-Konzentration, und die Fluchtdistanz nahm nur bei jenen Tieren zu, die bereits einmal gefangen worden waren. Dagegen reagierten Meeresechsen, die mit akutem Feinddruck leben, auf ein Harassment-Experiment sofort mit einem Anstieg in der Kortikosteroid-Konzentration.

„Unsere Fangversuche zeigen, dass die Tiere ihre Fluchtdistanz steigern und die Kortikosteroid-Antwort aktivieren können“, erklärt Thomas Rödl. „Die Funktion der Stressachse ist also offenbar auch über lange evolutionäre Perioden ohne den Druck von Beutegreifern erhalten geblieben und kann ihre Aktivität sofort zurückgewinnen, wenn diese wieder auftauchen.“ Meeresechsen können also offenbar lernen, was ein Beutegreifer ist, allerdings sind sie nicht in der Lage, ihre Fluchtdistanz effizient zu steigern. „Wir konnten dieselben Tiere in vier Wochen bis zu sechs Mal wieder einfangen“, sagt Rödl. Kein Wunder also, dass die eingeführten Hunde und Katzen auf einigen Inseln die Population der Meeresechsen drastisch reduziert haben.

Die Fähigkeit, sich auf neue Beutegreifer einzustellen, wird also nicht durch das physiologische System begrenzt, sondern durch die Einschränkungen im Verhalten. „Eine lang anhaltende Flucht kostet das Tier Kraft. Im Zuge der Evolution bei Fehlen jeglicher Beutegreifer hat somit die Selektion möglicherweise dazu geführt, dass vor allem Tiere, die auf eine solche kostenintensive Flucht verzichten haben, einen Fitnessvorteil hatten“, spekuliert Rödl. Die Ergebnisse der Forscher liefern zum ersten Mal Hinweise, warum zahme Tiere auf zahlreichen Kontinenten ausgestorben sind, sie geben aber auch Naturschützern Argumente an die Hand, die für einen nachhaltigen Tourismus auf den Galápagos plädieren. ●

## Kontakt:

Dr. THOMAS RÖDL  
Max-Planck-Institut  
für Ornithologie,  
Andechs  
Tel.: +49 163 161 5373  
Fax: +49 8152  
373-133  
E-Mail:  
roedl@orn.mpg.de

## Panorama

**NANOGITTER FILTERN HYPERSCHALL.** Forscher des Mainzer Max-Planck-Instituts für Polymerforschung haben Kolloidkristalle hergestellt, die Schallwellen im Gigahertz-Bereich absorbieren. Dieser extrem kurzwellige Hyperschall entsteht unter anderem aus der Wärmebewegung der Atome und trägt zur Wärmeleitung in Materialien bei. Seine Wellenlänge liegt im Bereich von Nanometern, und ihn zu blockieren erfordert deshalb Strukturen mit ähnlichen Dimensionen. Die Mainzer Wissenschaftler verwendeten dafür Polystyrol-Kügelchen mit Durchmessern von 200 bis 300 Nanometern, die regelmäßig geschichtet auf einer Glasplatte angeordnet und mit Silikonöl benetzt waren: Die so erzeugten Kolloidkristalle schlucken Hyperschall in jeweils definierten Frequenzbereichen. Da sie zugleich die Wärmeleitung beeinflussen, könnten diese Kristalle für die Konstruktion hocheffizienter Wärmebarrieren dienen. Außerdem wirken sie auch als optische Filter, könnten also dazu herangezogen werden, optische und akustische Wellen wechselseitig zu modulieren – und vielleicht akustische Laser zu konstruieren.

**HIERARCHIE FESTIGT DIE KNOCHEN.** Wissenschaftler des Potsdamer Max-Planck-Instituts für Kolloid- und Grenzflächenforschung haben herausgefunden, was Knochen zum einen elastisch verformbar, zum anderen aber äußerst bruchstarrer macht. Entscheidend ist dafür ein hierarchisch gegliederter Aufbau: Auf großen Skalen werden die Kräfte, die auf einen Knochen einwirken, durch elastisch dehnbare Kollagenfasern aufgenommen, die sich über eine Art Klebeschicht gegeneinander verschieben und die Belastung über Strukturen im Mikro- und schließlich Nanometerbereich auf kleinste Plättchen aus Apatit weiterleiten. Diese harten und spröden mineralischen Teilchen sind nur wenige Nanometer groß und halten deshalb größere Spannungen aus als entsprechende Kristalle im Mikrometerbereich, in denen sich bereits bei geringeren Lasten Risse bilden würden. Letztlich beruht die Stabilität von Knochen also darauf, dass kleine mineralische Partikel widerstandsfähiger sind als große. Nach diesem Prinzip des Knochenbaus lassen sich womöglich neue technisch einsetzbare Materialien konstruieren. Außerdem erhofft man sich neue Einblicke in die pathologischen Veränderungen, die im Verlauf einer Osteoporose auf molekularer Ebene ablaufen.

**DEN TRICKS EINES PFLANZEN-PARASITEN** spüren Wissenschaftler des Max-Planck-Instituts für terrestrische Mikrobiologie in Marburg im Rahmen eines internationalen Forschungsprojekts nach. Es geht dabei um *Ustilago maydis*, den Erreger des sogenannten Maisbeulenbrands. Dieser Pilz führt zu monströsen, geschwulstigen Aus-

wüchsen an Maiskolben, die zwar nicht giftig sind – und in Mexiko sogar als Delikatesse gelten –, aber den Mais für die Produktion von Maismehl oder Popcorn unbrauchbar machen. Inzwischen ist das Genom dieses Parasiten analysiert und unter den rund 7000 Genen wurden einige gefunden, die offenbar dafür verantwortlich sind, dass der Pilz zum einen auf Kosten seiner Wirtspflanze lebt, ohne sie zu töten, und zum anderen die Abwehr der Pflanze umgeht. Die Identifizierung dieser Schlüsselgene macht *Ustilago maydis* zu einem Modell, an dem sich die Strategien auch anderer biotropher Pilze studieren lassen – von denen viele, darunter auch wirtschaftlich bedeutende Rostpilze, mit dem Erreger des Maisbeulenbrands verwandt sind.



**OPFERTOD AN DER ABWEHRFRONT.** Dringen Krankheitskeime in den Körper ein, bilden sogenannte neutrophile Granulozyten die erste Verteidigungslinie. Diese weißen Blutzellen agieren dabei zum einen als Phagozyten, als Fresszellen: Sie nehmen die Angreifer in ihren Zellkörper auf und töten sie durch zersetzende Enzyme ab. Zum anderen aber, und das haben Wissenschaftler des Berliner Max-Planck-Instituts für Infektionsbiologie vor einiger Zeit gefunden, arbeiten die Granulozyten auch mit Fangnetzen: Sie produzieren Geflechte aus Nukleinsäuren und Enzymen, in denen sich Bakterien oder Pilze verfangen und unschädlich gemacht werden. Jetzt haben die Berliner Forscher aufgeklärt, wie diese Fangnetze entstehen. Demnach führen Bestandteile zersetzter Erreger dazu, dass sich im Innern eines Granulozyten sowohl dessen Zellkern als auch seine Enzymspeicher auflösen und ihre Inhalte vermischen. So entsteht ein „Gewölle“ aus DNA-Fäden und Enzymen – das von dem todgeweihten Granulozyten in einem letzten Kraftakt durch seine platzende Zellmembran ausgestoßen wird und sich zu einem tödlichen Netz für Krankheitserreger entfaltet.

Mais als Wirt: Der Pilz *Ustilago maydis* verursacht den Maisbeulenbrand. Forscher haben jetzt Gene des Pilzes identifiziert, die bei der Infektion der Pflanze eine Rolle spielen.

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