



FORSCHUNG aktuell

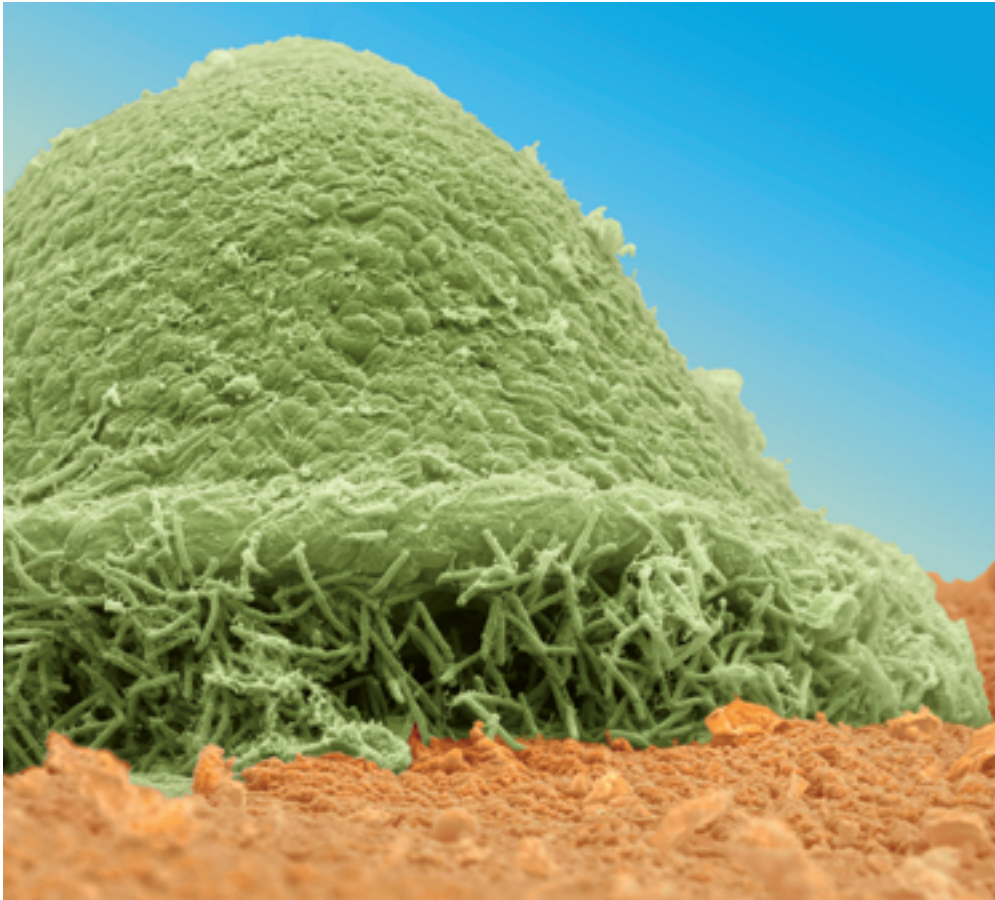


FOTO: MPI FÜR ENTWICKLUNGSBIOLOGIE – JÜRGEN BERGER UND SUPRIYA KADAM

ENTWICKLUNGSBIOLOGIE

Resozialisierte Bakterien

Auch Bakterien sind zur Resozialisierung fähig. Das haben Forscher um Gregory Velicer vom Max-Planck-Institut für Entwicklungsbiologie in Tübingen herausgefunden. Das Bakterium *Myxococcus xanthus* lebt eigentlich in Populationen mit einem sozialen Gefüge. Einige Stämme nutzen das soziale Verhalten ihrer Artgenossen allerdings aus. Ehe solch eine betrügerische Linie ihre Gesellschaft zu Grunde richtete, entwickelte sie jedoch wieder soziales Verhalten. (NATURE, 18. Mai 2006, und PNAS, 23. Mai 2006)

Myxococcus xanthus ist ein soziales Bakterium: Die Mikroben leben im Boden und bewegen sich dort gemeinsam, indem sie sich mit ihren faserigen *Pili* an der Zelloberfläche vernetzen. So jagen sie auch rudelweise nach anderen Mikroorganismen, deren Zellwände sie mit Enzymen auflösen. Und wenn es an Nahrung mangelt, schließen sie sich zu Fruchtkörpern von mehr als 100 000 Zellen zusammen. Allerdings überleben darin nur wenige Bakterien die harten Zeiten als widerstandsfähige Sporen. Darüber, wann sie sich zu einem Fruchtkörper zusammenschließen müssen, verständigen

Myxococcus xanthus bildet in Zeiten der Nahrungsknappheit Fruchtkörper, in denen einige Bakterien als Sporen überleben. Die Betrüger unter den Mikroben können nicht das biochemische Signal geben, den Fruchtkörper zu bilden, aber viel effektiver Sporen bilden.

Schwärmen lernen: Bakterien von *Myxococcus xanthus* gewinnen auch die soziale Fähigkeit zurück, sich in Gruppen zu bewegen (oben Mitte sowie 3-Uhr- und 8-Uhr-Position). Die Populationen in 3-Uhr- und 8-Uhr-Stellung stammen von Linien ab, die das nicht konnten (5-Uhr- und 10-Uhr-Position).



herkömmlichen Sequenzierungstechnik. Bei dieser setzt ein Enzym Abschnitte des Genoms in allen möglichen Längen zusammen, und ein Sequenzierer analysiert dann die Unterschiede in den Schnipseln.

Um die Ergebnisse ihrer ersten Analyse zu überprüfen, suchten die Biologen auch mit dieser Methode nach Mutationen im Erbgut von *Myxococcus xanthus* – und fanden dabei nicht mehr genetische Veränderungen als mit der Sequenzierung durch Synthese. So haben die Forscher bewiesen, dass die neue, einfachere Methode ausreicht, um auch kleinste genetische Veränderungen zwischen verschiedenen Generationen zuverlässig aufzuspüren. Daher wird es künftig viel einfacher, die Evolution von Organismen an ihrem Erbgut nachzuvollziehen, auch für Organismen wie *Myxococcus xanthus*, deren Erbinformation auf einem relativ großen Genom gespeichert ist. Und selbst dann, wenn der Unterschied zwischen zwei Stämmen der Bakterien nur in einer einzigen Mutation liegt. Denn genauso groß war die Differenz, die das betrügerische wieder in ein kooperierendes Bakterium verwandelte.

sich die Bakterien mit biochemischen Signalen. Einige Stämme nutzen diese Signale der kooperierenden Bakterien jedoch aus. Sie können die Botenstoffe selber nicht ausschütten, aber mit Hilfe der Signale ihrer kooperativen Artgenossen verwandelt sich eine viel größere Zahl dieser betrügerischen Bakterien in Sporen. Wenn eine Population aus kooperierenden und betrügerischen Bakterien mehrmals hintereinander Zeiten des Mangels durchlebt, gewinnen die Betrüger so allmählich die Oberhand – bis zu wenige kooperierende Bakterien übrig sind, die dazu aufrufen, einen Fruchtkörper zu formen. In vielen Fällen stirbt die Population dann bei der nächsten Not aus. Biologen bezeichnen dies als evolutionären Selbstmord.

Doch so weit muss es nicht kommen: Das haben Forscher um Gregory Velicer an einer Population kooperierender Bakterien herausgefunden, die sie mit einem betrügerischen Stamm vermischt. Über mehrere Zyklen von Nahrungsknappheit und -überfluss gewann dieser rasch die Oberhand über die kooperierenden Bakterien. Schließlich rottete der betrügerische Stamm sogar beinahe die gesamte Population aus. In einem weiteren Zyklus haben die Wissenschaftler jedoch plötzlich wieder Sporen gefunden. Offenbar hat sich eine neue Generation der vormals betrügerischen Myxococcen so verändert, dass die Bakterien wieder kooperieren können.

Nun durchsuchten die Wissenschaftler das Erbgut nach Veränderungen, welche die Resozialisierung auslösten. Dabei nutzten sie eine noch ziemlich neue Methode, um die Basenfolge in der DNA zu bestimmen. Biotechnologen nennen dieses Verfahren Sequenzierung durch Synthese. Dabei kopieren sie die DNA und vervollständigen einen Strang Base für Base. Unmittelbar nachdem sich ein neuer Baustein an den Strang angelagert hat, identifizieren sie diesen mittels fluoreszierender Markierungen. Den Gencode auf diese Weise zu entschlüsseln ist sehr viel einfacher als mit der

men wie *Myxococcus xanthus*, deren Erbinformation auf einem relativ großen Genom gespeichert ist. Und selbst dann, wenn der Unterschied zwischen zwei Stämmen der Bakterien nur in einer einzigen Mutation liegt. Denn genauso groß war die Differenz, die das betrügerische wieder in ein kooperierendes Bakterium verwandelte.

Inspiziert von dem antiken Mythos nennen die Max-Planck-Wissenschaftler diesen neuen Stamm *Phönix*. Die Mutation führte dazu, dass *Phönix* größere Mengen des Enzyms Acetyltransferase produzierte als seine Vorfahren – und sogar effektiver als seine kooperierenden Verwandten Sporen bildete. Das Enzym löst einen bislang unbekannt Mechanismus aus, der das soziale Verhalten beeinflusst. Wie genau dieser Mechanismus funktioniert, wissen die Forscher noch nicht. Jedenfalls sorgt er auch dafür, dass sich *Phönix* nicht mehr von seinen betrügerischen Vorfahren ausnutzen ließ. So dominierte der neue Stamm bald die gesamte Population.

Das betrügerische Verhalten mancher Myxococcen-Stämme nennen Biologen obligat: Wie Parasiten oder Symbionten hängen sie von anderen Organismen, in diesem Fall ihren Artgenossen, ab. Bislang wusste man nicht, ob Organismen diese abhängige Lebensweise wieder ablegen können. Und wie lange es gegebenenfalls möglich bleibt, dass sich eine obligate Lebensweise zu einer unabhängigen zurückentwickelt. Nach den Erkenntnissen der Max-Planck-Forscher waren zumindest die Myxococcen diese Chance über einige Generationen.

Über den Zwischenschritt des obligaten betrügerischen Verhaltens haben sie sogar einen großen evolutionären Schritt nach vorn gemacht: Denn die Bakterien des *Phönix*-Stamms waren mit ihrer sozialen Lebensweise erfolgreicher als die kooperierenden Stämme, die die Betrüger verdrängt hatten. Mit ihrer Arbeit geben die Wissenschaftler einen Einblick, wie sich soziale Systeme entwickeln.

© Weitere Informationen erhalten Sie von: GREGORY J. VELICER Max-Planck-Institut für Entwicklungsbiologie, Tübingen Tel.: + 49 7071 601-1462 Fax: + 49 7071 601-305 E-Mail: gregory.velicer@tuebingen.mpg.de

ASTROPHYSIK

Schwaches Glimmen aus dem All

Ein kosmisches Hintergrundleuchten erfüllt das gesamte Weltall. Es gilt als Überrest allen Lichts, das von sämtlichen Quellen wie Sternen oder Galaxien jemals ausgestrahlt wurde. Jetzt haben Astrophysiker herausgefunden, dass die Intensität dieses Glimmens wesentlich geringer ist als bisher vermutet. Als Sonden nutzten die Forscher zwei weit entfernte Quasare, deren Gammaskpektren sie mit den H.E.S.S.-Teleskopen in Namibia aufzeichneten. Die Spektren erschienen dabei nur wenig gerötet – das Hintergrundlicht vermag die Strahlung der Quasare nicht sehr stark zu trüben. (NATURE, 20. April 2006)

Das Hintergrundlicht ist ein im wahrsten Sinne universales Phänomen und durchdringt gleichmäßig den intergalaktischen Raum. Alle Arten von Objekten wie Sterne, Galaxien oder Quasare tragen zu diesem Strahlungsnebel bei. Er gilt als Überrest all des Lichts, das im Weltall jemals emittiert wurde; so überdeckt dieses *Extragalactic Background Light* (EBL) sämtliche Epochen, von der Entstehung der ersten Sterne und Galaxien bis in die heutige Zeit. Lange haben die Wissenschaftler versucht, diese Emission zu messen. Ihre direkte Bestimmung aus dem gleichmäßigen Leuchten am Nachthimmel gestaltet sich jedoch als sehr schwierig und äußerst ungenau, weil die irdische Atmosphäre, das Sonnensystem sowie die Milchstraße das schwache Glimmen gleichsam überstrahlen.

Einen Ausweg bietet die Beobachtung von Quasaren – jener kosmischen Kraftwerke, die in ihrem Zentrum ein außergewöhnlich massereiches Schwarzes Loch beherbergen. Eine solche Schwarzwelle verschlingt Gas aus der Umgebung und spuckt einen Teil davon als Plasma wieder aus, das dabei annähernd auf Lichtgeschwindigkeit be-

schleunigt wird. Der gebündelte Strahl aus Protonen, Elektronen und elektromagnetischen Wellen erreicht nicht selten die hundertfache Ausdehnung seiner Muttergalaxie. Zeigt die „Düse“ des Quasars in Richtung Erde, erscheint die Strahlung extrem verstärkt: Die Astronomen sehen einen Blasar.

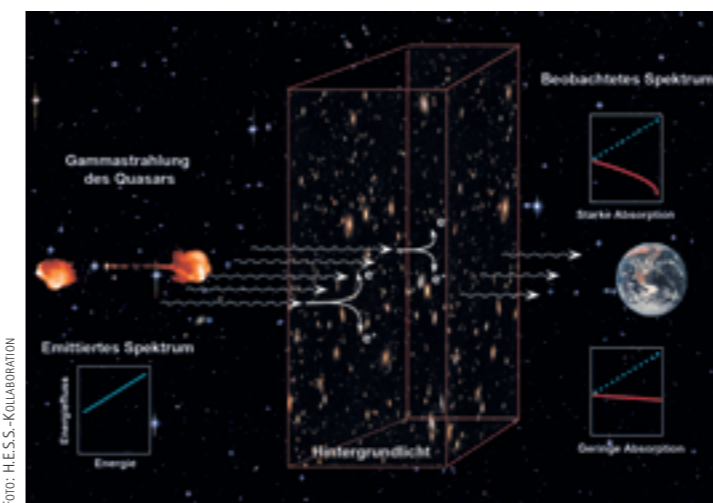
Die beiden von den H.E.S.S.-Forschern ins Visier genommenen Objekte gehören in diese Klasse. Wie aber lassen sich die beiden Blasare als Sonden nutzen? Die von ihnen ausgesandten, sehr energiereichen Gammalichtteilchen stoßen auf ihrem langen Weg zur Erde mit den Photonen des Hintergrundlichts zusammen und werden dabei abgeschwächt. Der Effekt führt zu einer Rötung des ursprünglichen Gammaskpektrums eines Blasars – etwa so, wie die untergehende Sonne nahe des Horizonts rötlicher aussieht, weil der blaue Anteil des Sonnenlichts in der Erdatmosphäre stärker gestreut wird als der rote. Dabei gilt: Je dichter die Atmosphäre, desto rötlicher erscheint die Sonne. Die Rötung hängt also von der Dichte des Mediums (in dem Fall der Luftschichten) ab. Auf diese Weise sollte sich auch die Beschaffenheit des Hintergrundlichts bestimmen lassen.

„Das Hauptproblem dabei ist, dass die Energieverteilung im Gammaskpektrum von Quasaren viele verschiedene Formen annehmen kann. Bisher ließ sich nicht wirklich sagen, ob ein beobachtetes Spektrum rot aussieht, weil es tatsächlich einer starken Rötung ausgesetzt war, oder ob es schon am Ursprung so aussah“, sagt Luigi Costamante vom Max-Planck-Institut für Kernphysik in Heidelberg.

Die Gammaskpektren der beiden Quasare namens H 2356-309 und 1ES 1101-232 haben dieses Problem jetzt gelöst. Die Objekte sind weiter entfernt als alle bisher beobachteten Quellen und konnten nur dank der unerreichten Empfindlichkeit des H.E.S.S.-Instruments untersucht werden. Das Ergebnis: Die Intensität des Hintergrundlichts reicht nicht aus, um das Quasarlicht rot zu färben – die Spektren sind zu blau, enthalten also zu viele Gammastrahlen am hoch energetischen Ende des gemessenen Bereichs.

Die maximale Intensität des diffusen Lichts, die sich aus den H.E.S.S.-Daten ableiten lässt, liegt in der Tat sehr nahe an der unteren Grenze, die aus der Summe des Lichts einzelner, in optischen Teleskopen sichtbarer Galaxien resultiert. Das liefert eine Antwort auf eine der Fragen, die Wissenschaftler schon seit einigen Jahren verwirrt hat: Wird das diffuse Licht vor allem von der Strahlung der ersten Sterne im Universum bestimmt? Das Resultat von H.E.S.S. scheint eine solche Möglichkeit auszuschließen: Es spricht dafür, dass das Hintergrundleuchten von normalen Galaxien stammt.

So wirkt sich das extragalaktische Hintergrundlicht (EBL) auf die Gammastrahlung eines fernen Quasars aus: Bei hoher Dichte der EBL-Photonen kommt es zu vielen Kollisionen mit den Gammalichtteilchen – die Absorption ist stark, das Spektrum deutlich verändert (oben rechts). Bei geringer Dichte der EBL-Photonen und dementsprechend schwacher Absorption ändert sich das Spektrum nur wenig (unten rechts).



© Weitere Informationen erhalten Sie von: DR. FELIX AHARONIAN Max-Planck-Institut für Kernphysik, Heidelberg Tel.: +49 6221 516-485 Fax: + 49 6221 516-324 E-Mail: Felix.Aharonian@mpi-hd.mpg.de

FOTO: MPI FÜR ENTWICKLUNGSBIOLOGIE

FOTO: H.E.S.S.-KOLLABORATION

KOHLENFORSCHUNG

Lakritzschnecken im Reagenzglas

Ob die Chemie stimmt, ist oft eine Sache des Zufalls. Wissenschaftler des Max-Planck-Instituts für Kohlenforschung in Mülheim an der Ruhr haben das in ihren Reaktionsgefäßen jetzt geändert. Sie haben Silicateilchen, eine Art Kieselsäure, aus einer Lösung so gezielt auf einer Oberfläche wachsen lassen, dass ein regelmäßiges Muster winziger Kegel entstand, und damit eine hierarchische Struktur geschaffen, wie man sie bisher nur aus der Natur kannte. (ADVANCED MATERIALS, 18. April 2006)

Knochen sind leicht und stabil, weil sie optimal gebaut sind – im Kleinen wie im Großen: Ihre kleinsten Elemente verbinden sich zu Fibrillen, die sich zu Lamellen falten. Diese wiederum ordnen sich zu Balken an, die schließlich ein Gerüst aufbauen, dessen Netz auch Statiker inspiriert. Materialwissenschaftler nennen solche Strukturen hierarchisch. Auch die Silicateilchen der Max-Planck-Forscher zeigen eine solche hierarchische Struktur.

In der Reaktionslösung vermischen die Wissenschaftler die Siliziumverbindung mit einem Amin, das einen langen Fettsäureschwanz hinter sich herzieht. Dann schließen sich zunächst die Moleküle desamins zu Mizellen zusammen, die lange Fäden bilden. An diese heften sich anschließend die Silicateilchen an. Tauchen die Forscher nun einen unbehandelten Träger, etwa eine leicht verunreinigte Glasplatte, in die Lösung, lagern sich die Teilchen

nach dem Zufallsprinzip ab: mal als Kegel, mal als Doppelkegel, mal als verdrilltes Faserbündel.

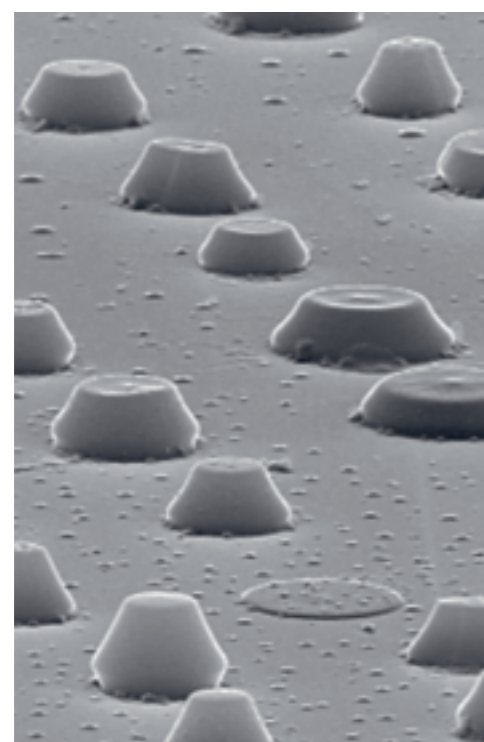
Um das zu ändern, versehen die Mülheimer Wissenschaftler die Oberfläche mit Ködern für eine bestimmte Teilchenform: Mit einem winzigen Silikonstempel drucken sie Quadrate einer methylhaltigen und damit wasserabweisenden Substanz auf das Glas, das selbst Wasser anzieht. Die Kanten der wasserabweisenden Quadrate messen drei Mikrometer (drei tausendstel Millimeter) und wirken wie Kristallisationskeime: Tunken die Chemiker die bedruckte Glasplatte in die Reaktionslösung, türmt sich nach knapp drei Tagen auf jedem Quadrat ein kleiner Kegel, der aus langen Fäden gewickelt ist. Warum sich die Silicateilchen bevorzugt auf den wasserabweisenden Quadraten sammeln, ist noch nicht ganz klar. „Möglicherweise lagern sich dort erst die organischen Mizellen ab, die dann die Silicateilchen anziehen“, sagt Frank Marlow, der die Forschung leitet.

Indem die Wissenschaftler die Silicapartikel auf die Oberfläche des bedruckten Glases locken, steuern sie, welche hierarchische Struktur diese letztendlich bilden: Den ersten Teilchen bleibt nicht viel anderes übrig, als sich in Form einer Lakritzschnecke auf den Träger zu legen. Indem sich dann Spirale auf Spirale stapelt, wächst der Kegel.

Richtungsweisend für die wachsenden Kegel ist eine globale Singularität – der Mittelpunkt der Silicaspiralen, um den sich die weiteren Silicateilchen gruppieren. „Oft spricht man davon, dass ein Defekt, etwa ein Loch in der Kristallstruktur, das Wachstum stört“, sagt Marlow: „Ich bin überzeugt, dass das Loch in unserem Fall aber bestimmt, welche Struktur am Ende herauskommt. Daher habe ich den Begriff der globalen Singularität geprägt.“ Diese Selbstorganisation der Teilchen lenken die Wissenschaftler dann mit den gedruckten Quadraten zu der gewünschten Überstruktur.

Dabei verbinden sie eine *Bottom-up*- mit einer *Top-down*-Technik. Von einer *Bottom-up*-Technik sprechen Materialwissenschaftler, wenn sich Teilchen selbst zu größeren Strukturen organisieren. Beim *Top-down*-Ansatz verteilen sich Stärken und Schwächen genau umgekehrt: Ihn wenden Chiphersteller an, wenn sie auf Siliziumwafern mit Fotolack den Plan einer Struktur zeichnen, die sie anschließend aus dem Halbleiter ätzen; weil die Auflösung dieser Methode begrenzt ist, lassen sich diese Strukturen nicht beliebig verkleinern. Die Forscher um Frank Marlow steuern, was im Nanometer-Maßstab geschieht. So wird es möglich, auch sehr feine Strukturen zu schaffen. Die Forscher könnten also dazu beitragen, elektronische und optische Bauteile zu verkleinern. ●

● Weitere Informationen erhalten Sie von: DR. FRANK MARLOW
Max-Planck-Institut für Kohlenforschung, Mülheim/Ruhr
Tel.: +49 208 306-2407
Fax: +49 208 306-2995
E-Mail: marlow@mpi-muelheim.mpg.de



Silicakegel wachsen pixelartig auf einem vorbehandelten Substrat. In jedem Kegel bildet das Silica eine spiralförmige Mesostruktur.

Foto: MPI für Kohlenforschung

STEUERRECHT

Grundstein für die Reform

Die Bundesregierung will die Duale Einkommensteuer auch hier zu Lande etablieren. Dazu muss das Modell an die Verhältnisse des deutschen Steuersystems angepasst werden. Anfang April wurde eine entsprechende Expertise an die Bundesminister Peer Steinbrück und Michael Glos überreicht. Federführend an dem Gutachten beteiligt war Wolfgang Schön, Direktor am Münchner Max-Planck-Institut für Geistiges Eigentum, Wettbewerbs- und Steuerrecht. Die Bundesregierung will die detaillierten Vorschläge in ihre für 2008 geplante Unternehmenssteuerreform einbeziehen.



● Wollen die Unternehmenssteuer reformieren: Max-Planck-Direktor Wolfgang Schön, Bert Rürup, Vorsitzender des Sachverständigenrats, die Bundesminister Michael Glos und Peer Steinbrück sowie Wolfgang Wiegand, Mitglied des Sachverständigenrats (von links).

Foto: BMWi

Die Steuerpolitik moderner Industriestaaten sieht sich zunehmend einem Konflikt ausgesetzt: Einerseits soll sie im internationalen Wettbewerb um Investitionen steuerlich attraktiv bleiben, andererseits den finanziellen Bedürfnissen genügen, die ein modernes Wohlfahrtsystem mit sich bringt. Die Duale Einkommensteuer – erstmals mit Erfolg zu Beginn der 1990er-Jahre in den skandinavischen Ländern und Finnland umgesetzt – stellt einen möglichen Ausweg dar, indem sie angesichts der geänderten Rahmenbedingungen die überkommenen Belastungsentscheidungen des Steuersystems neu justiert.

So soll das in Berlin überreichte Gutachten dazu beitragen, das deutsche Ertragssteuerrecht neu zu ordnen und den Standort Deutschland steuerlich attraktiver zu machen. Außerdem sollen die unterbreiteten Vorschläge im Bereich der Unternehmensbesteuerung weitgehende Finanzierungs- und Rechtsformneutralität gewährleisten. Die Experten versprechen sich davon eine Stärkung der Investitionsbereitschaft inländischer und ausländischer Kapitalgeber sowie eine mittelfristige Förderung von Wirtschaftswachstum und Lohnentwicklung.

Erträge aus international mobilen Produktionsfaktoren, wie Sach- und insbesondere Finanzkapital, sollten danach im Grundsatz einem niedrigen, möglichst proportional ausgestalteten Steuertarif unterworfen werden – was eine effiziente Steuererhebung gewährleisten soll. Für Einkommen aus immobilien Faktoren, darunter vor allem Arbeitseinkommen und Transferleistungen, gibt es hingegen keine ökonomischen oder finanziellen Gründe für eine steuerliche Entlastung.

Im Vordergrund des Modells stehen die konkreten wirtschaftlichen Wirkungen unternehmerischen Handelns. Für die steuerliche Bewertung soll es nicht mehr darum gehen, ob Einkünfte gewerblich oder vermögensverwaltend oder ob sie von selbstständigen oder abhängig Beschäftigten erzielt werden. Bei einer wachstumsorientierten (Steuer-)Politik ist es entscheidend, ob und inwieweit sich am Markt erwirtschaftete Erträge auf getätigte Investitionen zurückführen lassen.

Aus standortpolitischen Gründen sollte für die als Kapitaleinkommen ausgewiesenen Gewinnanteile der Unternehmen eine Gesamtbelastung von 25 Prozent nicht überschritten werden. Anhand ausführlicher Modellrechnungen haben die Experten gezeigt, dass die Duale Einkommensteuer die Standortattraktivität Deutschlands

für inländische und ausländische Investitionen deutlich erhöht. Im internationalen Ranking würde sich die Bundesrepublik unter ausgewählten Industriestaaten bei Kapitalgesellschaften von den hinteren Plätzen in das vordere Mittelfeld verbessern. Im Bereich von Personenernehmen würde sie in Westeuropa sogar an die Spitze vordringen. Das ist auch standortpolitisch gut zu rechtfertigen, da deutsche mittelständische Personenernehmen häufig mit ausländischen Betrieben konkurrieren.

Mit der Dualen Einkommensteuer lassen sich somit die Ziele einer Unternehmenssteuerreform weitgehend realisieren. Das Modell führt überdies zu einem höheren Maß an Entscheidungsneutralität und bietet ein flexibles Instrumentarium, das sich auch an den finanziellen Interessen orientiert. Das an die Bundesregierung übergebene Steurgutachten – neben dem Max-Planck-Institut daran beteiligt waren der Sachverständigenrat zur Begutachtung der gesamtwirtschaftlichen Entwicklung sowie das Zentrum für Europäische Wirtschaftsforschung in Mannheim – stellt einen wichtigen Schritt zur notwendigen Reform des Unternehmenssteuerrechts dar. ●

● Weitere Informationen erhalten Sie von: PROF. DR. WOLFGANG SCHÖN
Max-Planck-Institut für Geistiges Eigentum, Wettbewerbs- und Steuerrecht, München
Tel.: +49 89 24246-5400
Fax: +49 89 24246-524
E-Mail: Wolfgang.Schoen@ip.mpg.de

KREBSFORSCHUNG

Molekularer Türsteher

Wenn zelluläre Schutzmechanismen versagen, können bestimmte Gene das Wachstum von Tumoren und damit Krebs auslösen. Zu diesen Onkogenen gehört Bcl-3, das unter anderem Leukämie verursacht. Forscher des Max-Planck-Instituts für Biochemie in Martinsried und der Ludwig-Maximilians-Universität München haben einen neuen Mechanismus gefunden, der dieses wichtige Onkogen aktiviert und reguliert: Ein Protein namens Cyld hält Bcl-3 in Schach – und schützt auf diese Weise Mäuse vor Tumorwachstum. (CELL, 19. Mai 2006)

Wachstum, Teilung und Differenzierung von Zellen gehören zu den am besten regulierten Vorgängen im Körper. Denn schon eine einzige Zelle, die sich dieser Kontrolle entzieht, kann zu einer Tumorerkrankung führen. Onkogene sind dabei so etwas wie tickende Zeitbomben, weil sie das Potenzial besitzen, Krebs auszulösen. In der gesunden Zelle kontrollieren so genannte Tumorsuppressor-Gene ihre Aktivität.

Der zelluläre Gegenspieler des Onkogens Bcl-3 war allerdings bisher noch unbekannt. Fest stand: Als Teil eines Transkriptionsfaktors muss das Protein in den Zellkern gelangen, um wirken zu können. Transkriptionsfaktoren initiieren und unterstützen die Abschrift von Genen, also von proteinkodierenden DNA-Abschnitten; der Vorgang dient der Umsetzung genetischer Information bei der Proteinsynthese.

Bcl-3 kooperiert bei der Genabschrift mit anderen, außerordentlich wichtigen Transkriptionsfaktoren. Zwei Vertreter dieser Familie (p50 und p52) müssen jedoch selbst erst aktiviert werden, um die Abschrift spezifischer krankheitsrelevanter Gene anstoßen zu können. Ein wichtiger Mechanismus hierfür ist die Bindung an Bcl-3. In einem ersten Schritt hat das Münchner Team unter Leitung von Max-Planck-Direktor Reinhard Fässler gezeigt, wie Bcl-3 in den Zellkern gelangt – nämlich dank eines molekularen Tickets.

Ubiquitin ist ein Molekül, von dem mehrere in Sequenz an Proteine angehängt werden können. Eine bestimmte Art der Bindung markiert die Proteine als Abfall, der entsorgt werden muss; auf andere Weise angeordnet, dienen die Ubiquitingruppen dagegen als Transportsignal. In dieser Funktion vermitteln sie etwa den Import von Proteinen in den Zellkern. Die neuen Ergebnisse zeigen nun, dass dies auch bei Bcl-3 der Fall ist – allerdings nur, wenn ihm nicht vorher ein Protein namens Cyld in die Quere kommt. Cyld wurde zuerst bei Patienten gefunden, die an Zylindromatose leiden, einer Erkrankung, bei der Tumoren im Gesicht, im Nacken und an der Kopfhaut wachsen.

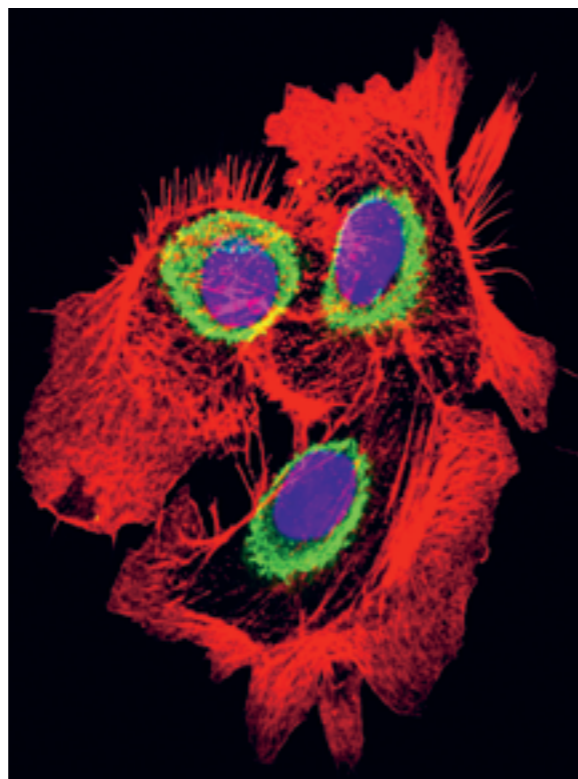



Foto: MPI für Biochemie

Ein Tumorsuppressor wird aktiv: Die mikroskopische Aufnahme zeigt drei Hautzellen, in denen sich das Cyld-Protein (grün) um die Zellkerne (blau) lagert und verhindert, dass das Onkogen Bcl-3 eindringt. Die rote Struktur zeigt das Zytoskelett der Zellen.

Dem Münchner Forscherteam gelang nun eine lückenlose Rekonstruktion der Cyld-Interaktion mit Bcl-3, angefangen mit der Rekrutierung von Cyld zur Kernmembran bis zur Ubiquitinierung von Bcl-3 und der Umkehrung dieses Vorgangs durch Cyld. Ebenfalls im Detail haben die Wissenschaftler gezeigt, dass sich Bcl-3 ohne Cyld im Zellkern anzusammeln und dort mit p50 und p52 ein beschleunigtes Zellwachstum auszulösen vermag. Insgesamt scheint eine generelle Funktion von Cyld als Tumorsuppressor zumindest bei Maus und Mensch nicht unwahrscheinlich.

Denn auch beim Menschen gibt es Hinweise, dass ein Defekt des Cyld-Gens bösartigere Konsequenzen als die Entstehung der meist gutartigen Tumoren bei Zylindromatose nach sich zieht. So fanden die Forscher in den Zellen anderer Hauttumoren wenig oder kein Cyld. Es ist zudem bereits bekannt, dass die Situation bei manchen Fällen von Leber-, Nieren- und Gebärmutterkrebs ähnlich ist. „Cyld wird in allen Zellen des Körpers gebildet“, sagt Reinhard Fässler. „Ich glaube, dass diese Deubiquitinase in sämtlichen Tumoren, in denen das Onkogen Bcl-3 eine Rolle spielt, als Tumorsuppressor wirkt.“

 @ Weitere Informationen erhalten Sie von: PROF. DR. REINHARD FÄSSLER
Max-Planck-Institut für Biochemie, Martinsried
Tel.: +49 89 8578-2424
Fax: +49 89 8578-2203
E-Mail: faessler@biochem.mpg.de

QUANTENPHYSIK

Paarbeziehung im Test

Verschränkte Photonen ähneln einem innig verbundenen, aber ziemlich konfusem Paar: Erst können sich beide Partner nicht festlegen, wer wo einkauft. Geht dann aber der eine zum Bäcker, geht der andere ganz selbstverständlich zum Metzger – ohne dass sich die beiden vorher abgesprochen haben. Vollkommene Verschränkung heißt dieses Phänomen in der Physik. Und die Paare sind meist Photonen. Ob sie völlig oder nur teilweise miteinander verschränkt sind, haben Forscher des Max-Planck-Instituts für Physik komplexer Systeme und der Universität von Rio de Janeiro nun erstmals direkt gemessen. (NATURE, 20. April 2006)

Verschränkte Teilchen, ob Photonen oder Atome, sind die kleinsten Einheiten, mit denen Quantencomputer und Quantenkryptografie, aber auch die Teleportation arbeiten sollen. Derzeit fordern sie aber vor allem die Experimentierkunst der Physiker heraus – und das Weltbild der meisten Menschen. Völlig miteinander verschränkt zu sein, heißt: Im Moment, in dem das Photonenpaar in speziellen Kristallen entsteht, sind kaum irgendwelche Eigenschaften der beiden Partner festgelegt. Wo genau sie sich aufhalten ist ebenso vage bestimmt wie ihre Flugrichtung. Und die Polarisation, also die Richtung, in der die Pakete ihrer Lichtwellen schwingen, bleibt sogar vollkommen unklar.

Erst wenn etwa eines der beiden Photonen in einem geeigneten Filter offenbaren muss, wie es polarisiert ist, wird es auf eine Schwingungsrichtung festgelegt. Nimmt es zufällig eine vertikale Richtung an, heißt das aber für seinen Partner: Er muss horizontal schwingen. Die Photonen können sich dabei sogar in ganz unterschiedlichen Ecken

des Universums herumtreiben. Was unseren gesunden Menschenverstand sprengt: Informationen darüber, welches von beiden welche Polarisation annimmt, tauschen sie nicht aus.

Nicht immer jedoch erreichen Photonen diesen vollkommenen Grad der Verschränkung. Oft behält das zweite Photon mehr oder weniger viel Freiheit, seine Polarisation zu wählen. „Wie stark die beiden Photonen verschränkt sind, können wir mit der Concurrence messen“, sagt Andreas Buchleitner, Theoretiker am Max-Planck-Institut für Physik komplexer Systeme. Der englische Begriff Concurrence, der kein deutsches Pendant hat, gibt an, wie viel Information ein Teilchen über das andere mit sich trägt. „Wir haben gezeigt, dass sich die Concurrence als Erwartungswert einer Observablen darstellen lässt“, sagt Buchleitner.

Vereinfacht gesprochen haben die Wissenschaftler damit die Anleitung geliefert, die Verschränkung der Photonen mit einem einzigen Experiment zu messen. Bisher reichte ein Versuch nur aus, wenn zwei Photonen völlig oder überhaupt nicht verschränkt sind. Dann ist im ersten Fall klar: Ist das eine Photon etwa horizontal polarisiert, muss das andere vertikal polarisiert sein. Im zweiten Fall heißt das: Das zweite Photon kann schwingen, wie es will – egal, was das erste macht.


In allen anderen Fällen – und die sind sehr viel häufiger – reicht eine Messung nicht. Dann vermischen sich in einem Zustand nämlich verschränkte und unverschränkte Anteile. Und zwar so komplex, dass Physiker alle messbaren Merkmale eines Photonenpaares bestimmen müssen, um seinen Zustand und damit den Grad seiner Verschränkung zu charakterisieren. Bisher gewannen die Forscher diese Information, indem sie zum Beispiel maßen, wie hoch die vertikalen und horizontalen Anteile an einer bestimmten Polarisation sind. Außerdem mussten sie bestimmen, wie die Wellenberge dieser Schwingungen gegeneinander verschoben sind. So waren sehr viele aufwändige Messungen notwendig, die selbst für die Labore mit den leistungsfähigsten Geräten eine diffizile Angelegenheit darstellten.

Das Team um Andreas Buchleitner hat eine elegante Methode ausgetüfelt, mit der nur noch eine Messung an zwei Kopien eines Zustands genügt. Auf diese Weise haben die Physiker eine Kopie durch den Impuls der Photonen charakterisiert, die andere durch ihre Polarisation. „Und diese beiden Kopien eines Zustands haben die Kollegen in Rio jetzt sogar auf einem Photonenpaar untergebracht“, sagt Buchleitner.

Ein Strahlteiler macht aus einem Photon zwei: Die Lichtteilchen in den beiden blauen Lasersignalen bilden verschränkte Paare, deren Hälften jeweils in verschiedene Richtungen fliegen. Doch egal, wie weit die Partner voneinander entfernt sind, ihre physikalischen Eigenschaften bleiben aneinander gekoppelt.

Foto: Focus-SPL

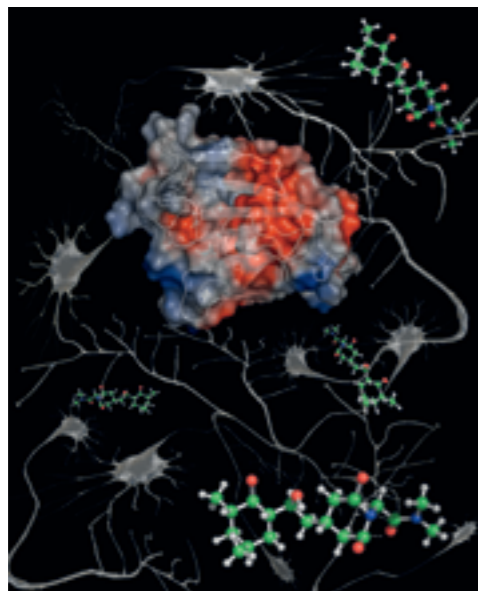


 @ Weitere Informationen erhalten Sie von: DR. ANDREAS BUCHLEITNER
Max-Planck-Institut für Physik komplexer Systeme, Dresden
Tel.: + 49 351 871-2211
Fax.: + 49 351 871-2299
E-Mail: abu@mpipks-dresden.mpg.de

BIOCHEMIE

Ein Stoff, der den Zelltod stoppt

Nach einem Schlaganfall zählt jede Minute. Wenn nicht schnell Hilfe kommt, nimmt das Gehirn bleibenden Schaden. Wissenschaftler unter anderem von der Max-Planck-Forschungsgruppe für die Enzymologie der Proteinfaltung haben jetzt eine Substanz synthetisiert, die diese Schäden zumindest teilweise von den Nervenzellen abwendet. Oder die Schäden repariert, wenn sie diese nicht verhindern konnte. Die Verbindung ähnelt einem Medikament, mit dem Mediziner nach Transplantationen das Immunsystem unterdrücken oder Autoimmunkrankheiten behandeln und das ebenfalls die Nervenzellen schützt. (JOURNAL OF BIOLOGICAL CHEMISTRY, 26. Mai)



Ein Enzym wird blockiert: Im Zentrum ist ein dreidimensionales Bild des FK506-binding-protein FKBP38 zu sehen. Seine Oberfläche zeigt negativ geladene (rot), positiv geladene (blau) und hydrophobe (grau) Partien. Die neuroprotektive Substanz DM-CHX ist im Stäbchenmodell dargestellt. Im Hintergrund illustrieren mikroskopische Aufnahmen von Nervenzellen, wen die Blockadeaktion schützt.

Ein Schlaganfall schneidet Teile des Gehirns vom Blutstrom ab – ein Gerinnsel verstopft dabei das Gefäß, das die Nervenzellen mit Sauerstoff versorgt. So schnell wie möglich müssen Ärzte jetzt versuchen, den Pfropfen aufzulösen. Denn je länger den Nervenzellen der Sauerstoff entzogen wird, desto mehr Neuronen sterben ab: Sie stürzen sich in den programmierten Zelltod.

Bisher gibt es kein Mittel, die Nervenzellen vor dem Tod zu schützen oder abgestorbene Nervenzellen gar zu ersetzen. Das könnte sich ändern: Eine Gruppe um den Max-Planck-Wissenschaftler Gunter Fischer hat jetzt eine Substanz entdeckt, die die bleibenden Schäden bei Ratten mit


Schlaganfallsymptomen begrenzt und teilweise sogar rückgängig macht.

Den Stoff bezeichnen die Biochemiker als DM-CHX. Er blockiert ein Enzym aus einer Familie, die den Namen FKBP (kurz für FK506-binding-protein) trägt. Die Mitglieder dieser Enzym-Familie helfen, Proteine zu falten. DM-CHX schaltete dabei besonders selektiv das Familienmitglied FKBP38 aus. „Wenn FKBP38 sehr aktiv ist, löst es in Nervenzellen den programmierten Zelltod aus“, sagt Fischer. „FKBP38 zu blockieren gibt den Zellen größere Chancen zu überleben.“ Außerdem sorgt die Blockade von FKBP38 dafür, dass Nervenzellen schneller wachsen, um bereits vorhandene Schäden zu reparieren. Die Wirkung von DM-CHX haben die Max-Planck-Forscher nicht nur auf zellulärer Ebene beobachtet: Ratten, die ein Schlaganfall gelähmt hatte, vermochten nach einer Therapie mit der neuen Substanz auch besser zu laufen als unbehandelte Tiere.

Andere Enzyme der FKBP-Familie als FKBP38 lahmzulegen kann dagegen weder den Selbstmord der Nervenzellen verhindern noch die Reparatur geschädigter Neuronen veranlassen. Das zumindest schließen Fischer und seine Kollegen aus ihren Untersuchungen. Daher hat DM-CHX gute Chancen, einmal Wirkstoff in einem Medikament zu werden. Zumindest bessere Chancen als eine ganze Reihe anderer bereits bekannter Verbindungen, die ebenfalls FKBP-Enzyme blockieren, sich aber weit weniger spezifisch an FKBP38 anlagern.

Manche dieser Substanzen greifen zusätzlich auch an völlig anderer Stelle im Stoffwechsel ein. So wie die Verbindung FK506, welche die Biochemiker erst auf die Fährte von DM-CHX brachte. Auch sie schützt Nervenzellen vor dem Selbstmord. Doch in der Medizin hat sie eine andere Aufgabe. Ärzte behandeln Transplantationspatienten mit Medikamenten, die FK506 enthalten, damit ihr Körper ein neues Organ nicht abstößt. Auch Menschen mit einer Autoimmunkrankheit nehmen diese Arznei, damit ihr Immunsystem sich nicht gegen ihren eigenen Körper wendet.

Bis DM-CHX tatsächlich Bestandteil eines Medikaments ist, wird jedoch noch einige Zeit vergehen. Erst müssen die Forscher die Wirkungen, die DM-CHX über kurze und lange Zeiträume zeigt, besser erforschen. Und sie müssen auch besser verstehen, wie DM-CHX im Detail in das Wachstum und die Differenzierung von Zellen eingreift, damit sie unerwünschte Nebenwirkungen ausschließen können. Die neue Substanz wirkt nach den Erkenntnissen der Forscher nur auf Nervenzellen. Sie könnte daher nicht nur vor bleibenden Schäden eines Schlaganfalls schützen, sondern auch die Folgen anderer Erkrankungen lindern, die Nervenzellen zerstören – etwa bei Alzheimer.

 **@ Weitere Informationen erhalten Sie von:**
PROF. DR. GUNTER FISCHER
Max-Planck-Forschungsgruppe für die Enzymologie der Proteinfaltung Halle/Saale
Tel.: + 49 345 55-22800
Fax.: + 49 345 55-11972
E-Mail: fischer@enzyme-halle.mpg.de

Panorama

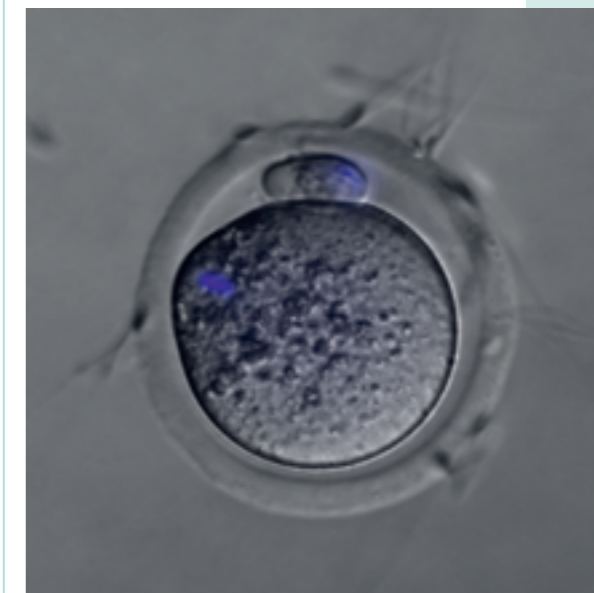
EINE UNWUCHT IM SÄUGEREI ist ausschlaggebend für dessen Befruchtung und spätere Entwicklung: Am Freiburger Max-Planck-Institut für Immunbiologie haben Forscher an Eizellen von Mäusen gezeigt, dass die Befruchtung dieser Zellen in einem Freiraum stattfindet, der durch den so genannten Polkörper erzeugt wird. Dieser Polkörper schafft zwischen der Eizelle und deren Schutzhülle – der *Zona pellucida* – einen Zwischenraum, der Spermien offenbar bevorzugte „Ankerplätze“ bietet und damit den Ort der Befruchtung vorzeichnet. Auch liegt das Erbmateriale der Eizelle jeweils nahe dem Polkörper unter der Eimembran. Beides zeigt an, dass die asymmetrische Befruchtung der Eizelle bei Mäusen – und damit die grundlegende Ausrichtung des künftigen Embryos – nicht biochemisch, sondern durch den rein mechanischen Einfluss des Polkörpers bestimmt wird.

EINEN TAUMELNDEN NEUTRONENSTERN hat ein internationales Team von Forschern, darunter auch aus dem Garching Max-Planck-Institut für extraterrestrische Physik, im Sternbild des Großen Hundes geortet. Das Objekt zeigt im Röntgenlicht neben den üblichen, durch seine rasche Rotation bedingten Schwankungen (im Bereich weniger Sekunden) auch eine langperiodische Variation: In den Jahren 2000 bis 2004 stieg der Anteil härteren Röntgenlichts im Spektrum des Neutronensterns, und danach sank der Beitrag dieser energiereichen Strahlung wieder. Aus diesem Verhalten schließen die Wissenschaftler auf eine Präzessionsbewegung der Rotationsachse des Neutronensterns, vergleichbar der eines taumelnden Kreisels. Die Ursache dafür wiederum könnte in einem seitlichen Schubs liegen, den der Neutronenstern bei seiner Geburt aus einer Supernova erfahren hat.

BILLARD MIT ELEKTRONEN zu spielen, sie gezielt in ihren Bewegungen zu beeinflussen und dadurch chemische Reaktionen zu steuern: Diesem Ziel ist ein Team von holländischen und deutschen Physikern, darunter auch Forscher des Garching Max-Planck-Instituts für Quantenoptik, einen guten Schritt näher gekommen. Die Wissenschaftler nutzten dazu Laserpulse mit einer Dauer von Femtosekunden (Millionstel einer milliardstel Sekunde) sowie mit präzise kontrollierten, maßgeschneiderten Wellenformen. Damit gelang es ihnen, die Dissoziation von Deuterium-Molekülen so zu lenken, dass sich deren Bindungselektronen nach der Trennung jeweils an ein bestimmtes der beiden entstehenden Molekülfragmente anlagerte.

ALS GESUNDBRUNNEN für die Leber wirkt das Hormon Serotonin: Es trägt entscheidend zur Regeneration von verletztem oder geschädigtem Le-


bergewebe bei. Zu diesem Befund kamen Forscher des Max-Planck-Instituts für molekulare Genetik und des Max-Delbrück-Centrums in Berlin gemeinsam mit Züricher und Straßburger Chirurgen und Pathologen: Sie hatten Thrombozyten – Blutplättchen – von Mäusen so verändert, dass sie kein Serotonin mehr transportierten und den Tieren dann Teile des Lebergewebes entfernten. Das hatte zur Folge, dass sich die Lebern dieser Mäuse sehr viel schlechter regenerierten als die der unbehandelten Kontrolltiere. Unter Gaben einer Vorstufe des Serotonins jedoch erholte sich das



Eine Eizelle kurz vor der Befruchtung: Der Polkörper schafft zwischen *Zona pellucida* und Eizelle einen Freiraum und gibt damit Spermien den Ort der Befruchtung vor.

Lebergewebe der gehandicapten Tiere ebenso rasch wie bei normalen Mäusen. Aus dieser Erkenntnis lässt sich womöglich Nutzen für die Behandlung von Patienten mit Leberschäden oder nach Lebertransplantationen ziehen.

ALS WEGWEISER FÜR NERVENBAHNEN fungieren besondere Signalstoffe, die nicht nur das Wachstum von Nervenfasern befördern, sondern zudem auch für deren gezielte Verknüpfung, etwa mit bestimmten Muskelgruppen, sorgen. Das fanden Wissenschaftler des Martinsrieder Max-Planck-Instituts für Neurobiologie gemeinsam mit französischen und amerikanischen Kollegen heraus. Die von den Forschern identifizierten Stoffe werden von Zellen des Gewebes produziert, durch das die faserartigen Ausläufer (Axone) von Nervenzellen auf ihre Zielstruktur hin wachsen und sich damit als Befehlsstränge etablieren. Dieser Befund bedeutet einen ersten Schritt zur Lösung der Frage: Woher weiß eine Nervenzelle, für welchen Muskel sie zuständig ist?

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