



FORSCHUNG aktuell



ORNITHOLOGIE

Der Macho im Weibchen

Gewöhnlich konkurrieren im Tierreich die Männchen um die Gunst der Weibchen. Bei einigen wenigen Tierarten sind die Geschlechterrollen jedoch vertauscht, etwa beim afrikanischen Grillkuckuck. Wissenschaftler vom Max-Planck-Institut für Ornithologie haben nun gezeigt, dass das Sexualhormon Testosteron, das Männchen bisweilen zu Machos macht, wahrscheinlich auch das aggressive und territoriale Verhalten der Grillkuckuck-Weibchen bestimmt. (DEVELOPMENTAL NEUROBIOLOGY, Online-Veröffentlichung, Mai 2007)

Das Männchen muss, um die Partnerin zu werben, ein Revier suchen und es gegen Rivalen verteidigen – so ist das normalerweise im Tierreich. Die Weibchen hingegen kümmern sich in erster Linie um die Brutpflege, mit mehr oder weniger Unterstützung durch den Partner. Bei den meisten Wirbeltieren ziehen sie die Jungen tatsächlich alleine groß. Nur bei weniger als einem Prozent aller Vogelarten tauschen die Geschlechter die Rollen. Dann verteidigen die Weibchen aggressiv ihre Territorien und konkurrieren um Männchen.

Rollentausch der Geschlechter: Das Weibchen des afrikanischen Grillkuckucks wacht über sein Revier.

Foto: Bernard Laineuc

Der afrikanische Grillkuckuck gehört zu diesen seltenen Vertretern. Während der Regenzeit entwickeln seine Weibchen ein prachtvolles Brutgefieder und etablieren große Territorien, deren Besitz sie durch anhaltenden Gesang verkünden. Und auch sonst verhalten sie sich wie echte Machos: Konkurrentinnen werden vehement vertrieben, Männchen jedoch sind willkommen – je mehr, desto besser. Jedes Weibchen paart sich mit bis zu drei Männchen.

Jedes Männchen des Grillkuckucks, der kein Brutparasit ist, baut sein eigenes Nest. Dorthinein legt das Weibchen bis zu sieben Eier. Damit ist die Brutfürsorge der Mutter aber auch schon beendet. „Nur der Vater brütet die Eier aus und versorgt die hilflosen Jungen während ihrer zwei Wochen dauernden Nestlingszeit, aber auch noch einige Wochen danach mit Nahrung“, beschreibt Wolfgang Goymann vom Max-Planck-Institut für Ornithologie in Seewiesen die fürsorglichen Grillkuckuck-Väter. Währenddessen legt das Weibchen weitere Eier für eines ihrer anderen Männchen oder versucht noch weitere Männchen zu gewinnen. Klassische Polyandrie heißt der Fachbegriff für dieses Paarungssystem.

Diese Eigenarten machten den afrikanischen Grillkuckuck für den Max-Planck-Forscher Wolfgang Goymann und seine Kollegin Cornelia Voigt zu einem idealen Modell, um zu erforschen, wie Hormone das Verhalten der Grillkuckuck-Weibchen regulieren. Wenn Vogelmännchen ein Brutrevier etablieren und verteidigen oder versuchen Weibchen anzulocken, schütten ihre Keimdrüsen erhöhte Mengen vor allem an Testosteron aus. Was läge also näher, als anzunehmen, dass ein Tausch der Geschlechterrollen auch mit einer Umkehr der Testosteronkonzentrationen im Blut einhergeht.

Doch alle klassisch polyandrischen Vogelarten – der Wilsonwassertreter, der Drosseluferläufer und besagter afrikanischer Grillkuckuck –, bei denen dies bislang untersucht wurde, weisen normale Testosteronprofile auf: hohe Werte bei den Männchen und niedrige Werte bei den Weibchen. Dennoch könnte das männliche Aggressionshormon Testosteron bei der Steuerung aggressiven Verhaltens von klassisch polyandrischen Weibchen eine Rolle spielen, wie die Max-Planck-Forscher jetzt herausgefunden haben.

Testosteron wirkt, wenn es an sogenannte Androgenrezeptoren bindet. Sie beeinflussen dann die Expression bestimmter Gene und lösen damit eine Kaskade aus, die wiederum das Verhalten beeinflusst. „Neben der Änderung der Hormonkonzentration im Blut stellt der Androgenrezeptor eine zweite Stellschraube dar, mit dessen Hilfe der Organismus die Wirkung von Testosteron regeln kann“, erklärt Goymann. Anstatt die Hormonproduktion zu steigern, könne der Organismus auch die Anzahl und Dichte dieser Andockstellen für das Testosteron erhöhen – und damit unter Um-



Flüchtige Mutterrolle: Das Weibchen legt die Eier, das Männchen brütet sie aus und versorgt die Jungen.

ständen die gleiche Wirkung auf das Verhalten erzielen. Genau das machen offenbar Grillkuckuck-Weibchen.

Die beiden Vogelforscher haben nämlich gezeigt, dass Grillkuckuck-Weibchen im *Nucleus taeniae* – einem Gehirnbereich, der in die Steuerung von territorialem und Aggressionsverhalten involviert ist – mehr Androgenrezeptoren exprimieren als Männchen. Und zwar auf mehrfache Weise: Weibchen besitzen in diesem Gehirnbereich nicht nur mehr Zellen, die den Androgenrezeptor ausbilden, sondern jede dieser Zellen bildet auch mehr Rezeptoren aus als die Zellen der Männchen.

„Das bedeutet, dass Grillkuckuck-Weibchen womöglich viel sensitiver auf geringe Mengen an Testosteron reagieren können als Männchen“, erläutert Cornelia Voigt. Das wäre auch sinnvoll, weil hohe Testosteronkonzentrationen bei Wirbeltierweibchen oft die Fortpflanzung stören. „Mit einer lokal begrenzten Erhöhung der Androgenrezeptordichte im *Nucleus taeniae* können Grillkuckuck-Weibchen die Nachteile hoher Testosteronkonzentrationen möglicherweise umgehen“, erklärt Goymann. „Indem sie die Sensitivität für das Hormon lokal erhöhen, können sie mit weniger Hormon aggressives Verhalten bewirken, ohne dabei ihre Fortpflanzungsphysiologie durcheinanderzubringen.“

Mit diesen Ergebnissen halten die Forscher einen ersten Hinweis auf den physiologischen Mechanismus in Händen, der für die vertauschten Geschlechterrollen bei Territorial- und Aggressionsverhalten verantwortlich sein könnte. Interessanterweise gibt es keine Vergleichsdaten von Vögeln oder anderen Wirbeltieren mit traditionellen Geschlechterrollen. „Es hat sich bei diesen Arten bisher noch niemand die Mühe gemacht, die Expression von Androgenrezeptoren in Männchen und Weibchen zu vergleichen. Bisher wurden immer nur die Männchen untersucht“, wundert sich Goymann.



© Kontakt:
Dr. Wolfgang Goymann
Max-Planck-Institut für Ornithologie, Andechs/Seewiesen
Tel: +49 8152 373-119
Fax: +49 8152 373-133
E-Mail: goymann@orn.mpg.de

KOSMOLOGIE

Eine Brücke zum Urknall

Am Anfang des Universums stößt Albert Einstein an seine Grenzen. Denn beim Urknall gelten nicht die Gesetze der allgemeinen Relativitätstheorie, die das Universum im Großen beschreibt. Vielmehr gehorchte das Weltall an seinem Anfang der Quantengravitation – Raum und Zeit verhielten sich nach denselben Quantengesetzen wie die kleinsten Teilchen. Nun haben Forscher am Max-Planck-Institut für Physik in München eine neue Brücke zwischen den beiden Theorien geschlagen. (PHYSICAL REVIEW LETTERS, 25. Juni 2007)

Die Stringtheorie beschreibt die Elementarteilchen nicht punktförmig, sondern als winzige schwingende Saiten (englisch: strings). Diese Saiten können sowohl geschlossen als auch offen sein. Geschlossene Strings ähneln einem winzigen Gummiring, offene Strings kann man sich wie eingespannte Violinsaiten vorstellen. Bei den Punkten, an denen diese eingespannt sind, handelt es sich in diesem Fall selbst um Objekte, die sich in der Raumzeit bewegen und Teilchen



Rasche Glättung von Raum und Zeit: Das Universum, hier als Kugel dargestellt, ist kurz nach dem Urknall sehr klein und sehr heiß, Raum und Zeit sind aufgrund von Quanteneffekten unscharf. Mit zunehmender Größe wird es sehr schnell glatt und lässt sich mit der Relativitätstheorie beschreiben.

Die Wissenschaftler haben beschrieben, wie sich Raum und Zeit in den ersten Sekundenbruchteilen nach dem Big Bang entwickelten – und zwar mit einem neuen Modell im Rahmen der Stringtheorie. Ihre Ergebnisse weisen den Weg, wie das Universum aus der Phase der Quantengravitation in die Ära des kosmologischen Standardmodells übergeht, wie es die Relativitätstheorie beschreibt.

Bei der Geburt des Weltalls war die Materie unendlich dicht und die Raumzeit in einem Punkt unendlich stark gekrümmt. An dieser sogenannten Singularität setzen die Vorschläge für eine Theorie der Quantengravitation an – und beginnt die Arbeit der Münchner Max-Planck-Wissenschaftler. Sie gehen von einer unscharfen Raumzeit aus, die Modelle der Quantengravitation liefern. „Daher wirkt das Universum ganz nah am Urknall ziemlich verschumpelt“, sagt Projektleiterin Johanna Erdmenger. Demnach lassen sich die Orts- und Zeitkoordinaten eines Punkts nicht gleichzeitig bestimmen; in der Folge wird die Raumzeit selbst verschwommen, also unscharf.

„Auf eine unscharfe Raumzeit kann die klassische Theorie jedoch nicht angewandt werden“, erklärt Erdmenger. Sie und ihre Mitarbeiter haben jetzt mit einem neuen Modell erklärt, wie aus dieser unscharfen Quantenraumzeit die klassische Raumzeit entsteht – und zwar mit Hilfe der Stringtheorie. „Nach unserem Modell nimmt die Unschärfe der Raumzeit im sich ausdehnenden Universum extrem schnell ab“, sagt Erdmenger. In seinen Rechnungen näherte sich das Team um Erdmenger dem Urknall bis auf Bruchteile von Sekunden.

beschreiben. Physiker nennen sie Dirichlet-Branen (D-Branen). Offene Strings und D-Branen nutzten die Forscher nun dazu, die Beschaffenheit der Raumzeit nahe dem Urknall zu erklären.

Die Wissenschaftler griffen dabei auf die sogenannte Robertson-Walker-Metrik zurück, welche die Ausdehnung unseres Universums abhängig von der Zeit beschreibt. Da die Robertson-Walker-Lösung an jedem Punkt und in jeder Richtung gleich ist, erklärt sie ein homogenes und isotropes Universum. In ihrem Modell bedecken die Münchener Physiker die Robertson-Walker-Raumzeit gedanklich mit einem Netz unendlich vieler D-Branen und verbinden sie untereinander mit offenen Strings.

Das Team um Erdmenger hat nun gezeigt, dass sich nahe dem Urknall nicht alle Orte der D-Branen in dem Netz gleichzeitig exakt bestimmen lassen. Das kosmologische Standardmodell funktioniert hier also nicht. Aus dem Modell folgt jedoch auch, dass diese Unschärfe rapide abnimmt, wenn der Radius des Universums wächst. Daher gehorcht das All schon kurze Zeit nach dem Urknall den Gesetzen der allgemeinen Relativitätstheorie.

Das neue Modell könnte erklären, weshalb die Astronomen auf Bildern des Weltraumteleskops Hubble vergeblich nach Verwischungen gefahndet haben, die sich aus der quantenmechanischen Unschärfe ergeben sollten. Solche Effekte zeigten sich nur Sekundenbruchteile nach dem Urknall – und kein Teleskop vermochte bisher in diese Epoche vorzudringen.

ABB.: MPT FÜR PHYSIK / FELIX RUST

Kontakt:
PRIV.-DOZ. DR.
JOHANNA ERDMENGER
Max-Planck-Institut
für Physik, München
Tel.: +49 89
32354-413
Fax: +49 89
32354-304
E-Mail: jke@
mppmu.mpg.de

ATMOSPÄREN-CHEMIE

Quecksilber aus dem Regenwald



Regenwald verpestet die Atmosphäre mit Quecksilber – wenn er brennt. Forscher des Mainzer Max-Planck-Instituts für Chemie und des GKSS-Forschungszentrums Geesthacht haben in der Abluft von großflächigen Waldbränden in Südamerika jetzt erhöhte Quecksilberkonzentrationen gemessen. Den Untersuchungen zufolge setzen die Waldbrände in der südlichen Hemisphäre teilweise deutlich mehr Quecksilber frei als industrielle Quellen. (GEOPHYSICAL RESEARCH Letters, April 2007)

Spuren von Quecksilber finden sich seit jeher in der Atmosphäre. So hat es sich vor Jahrmillionen auch in der Kohle angesammelt. Nun setzen Kraftwerke, Eisenhütten und Heizungen, die Kohle verbrennen, das Schwermetall wieder frei. Aber auch wo Müll brennt, entweicht der giftige Stoff. Die Wissenschaftler aus Mainz und Geesthacht haben jetzt mit dem Luftbeobachtungssystem CARIBIC, das an Bord eines Lufthansa-Airbus von Frankfurt am Main über São Paulo nach Santiago de Chile flog, eine weitere wichtige Quecksilberquelle identifiziert – die brennenden Regenwälder auf der südlichen Hemisphäre.

Während der Brandsaison von August bis Oktober emittieren die Brände dort sogar mehr Quecksilber als die Kohle- und Müllverbrennung, aber auch der Goldbergbau. Aus den CARIBIC-Messungen haben die Forscher berechnet, dass über Waldbrände, von denen 90 Prozent auf der Südhalbkugel wüten, weltweit pro Jahr bis zu 750 Tonnen Quecksilber in die Luft gelangen; das sind elf Prozent aller Quecksilberemissionen.

Aber: Anthropogene Quellen wie Kohle- und Müllverbrennung machen immer noch etwa drei Viertel der weltweiten Emissionen aus. „Letztendlich dürften diese Quellen vor allem in den Industrieländern auch der Grund sein, warum Regenwälder überhaupt so stark mit Quecksilber belastet

sind“, sagt Franz Slemr, einer der beteiligten Wissenschaftler vom Max-Planck-Institut für Chemie. Sie sorgen nämlich dafür, dass die Atmosphäre heute vermutlich dreimal mehr von dem Schwermetall enthält als in der präindustriellen Zeit. Und weil Luft keine Grenzen kennt, verteilt sich das Metall auch auf der südlichen Hemisphäre. Dort schlägt es sich mit dem Regen auf der Erde nieder und wandert in die Biomasse.

Vermutet haben Atmosphärenchemiker schon länger, dass bei den Waldbränden auf der Südhalbkugel viel Quecksilber in die Atmosphäre entweicht – möglicherweise mehr als aus anthropogenen Quellen. „Darauf deuteten Messungen bei Biomasseverbrennungen etwa in Kanada hin“, sagt Slemr. Der Verdacht lag zudem nahe, weil es im Regenwald zwar weniger Industrie, aber viel mehr Brandrodung gibt als im Norden.

In der Atmosphäre kommt Quecksilber überwiegend elementar und dampfförmig vor. Nur langsam oxidiert es zu schwerflüchtigen und wasserlöslichen Substanzen, die der Regen dann aus der Luft wäscht. So gelangt es auch in Seen und Ozeane, wo es sich teilweise zum äußerst toxischen Methylquecksilber umwandelt. Dieses reichert sich in der Nahrungskette an.

In einigen Fischarten am Ende der Nahrungskette, wie Thunfisch und Hecht, erreichen die Methylquecksilberkonzentrationen bereits schädliche Werte. In Kanada und Skandinavien sind tausende von Seen so belastet, dass schwangere Frauen deren Fische inzwischen nicht mehr essen sollten. Und Ozeanfische wie der Thunfisch sollten sich nur noch selten auf dem Speiseplan finden.

Da Waldbrände das Quecksilber, das der Regen bereits aus der Atmosphäre entfernt hatte, erneut mobilisieren, verschlimmern sie die weltweite Belastung. „Unterbrechen lässt sich der Kreislauf nur, wenn die Industriestaaten ihre Emissionen eindämmen“, sagt Franz Slemr.

Labor an Bord: Ein Airbus A340-600 mit der Messsonde und dem Messcontainer des CARIBIC-Projektes, in dem unter Federführung des Max-Planck-Instituts für Chemie weltweit die Luft analysiert wird.

Kontakt:
DR. FRANZ SLEMR
Max-Planck-Institut
für Chemie, Mainz
Tel.: +49 6131
305-423
Fax: +49 6131
305-436
E-Mail: slemr@
mpch-mainz.mpg.de

GENETIK

Feinabstimmung bei der Blütenbildung

Jede Blüte von höheren Pflanzen ist nach dem gleichen Muster aufgebaut: Zuerst kommen die grünen Kelchblätter. Sie schützen die Blütenblätter, die Insekten oder andere Bestäuber anlocken sollen. Im Inneren der Blüte verstecken sich dann die Staubblätter mit ihren Pollensäcken und die Fruchtblätter, aus denen später mal eine Frucht und der Samen entstehen. Damit sich die Blüte so formt, wird ein ganzes Orchester von Genen angestimmt. Wissenschaftler des Max-Planck-Instituts für Züchtungsforschung in Köln haben nun zusammen mit Kollegen aus Nijmegen herausgefunden, dass die Bildung der Blütenorgane maßgeblich von einem stark konservierten Kontrollmolekül, einer sogenannten microRNA, gesteuert wird. (NATURE GENETICS, Juli 2007)

MicroRNAs bestehen – im Gegensatz zur Boten-RNA (mRNA) – aus weniger als 22 Nukleotidbausteinen. Sie kontrollieren die Genexpression, indem sie an die passenden Abschnitte der mRNA binden, die bei der Abschrift eines Gens entstehen. Der Doppelstrang kann nicht mehr abgelesen und das entsprechende Protein nicht mehr hergestellt werden. Auf diese Weise regulieren

microRNAs die Entwicklung und den Stoffwechsel von Pflanzen und Tieren.

In Genen, die für microRNAs kodieren, treten in der Regel nur sehr selten Mutationen auf. Die Kölner Forscher haben zusammen mit den niederländischen Kollegen nun jedoch eine Löwenmäulchen-Mutante sowie eine Petunien-Mutante untersucht, bei der genau diese Gene verändert waren. Sie bildeten daher anstelle der Blütenblätter noch einen Kreis Staubblätter aus. „Bei diesen beiden Mutanten ist die Grundordnung durcheinandergeraten, dadurch wachsen falsche Organe an der falschen Stelle“, erläutert die Arbeitsgruppenleiterin Zsuzsanna Schwarz-Sommer.

Doch damit tat sich gleichzeitig die Frage auf, wie die microRNA in die Blütenbildung eingreift. Ihre Steuerung ist ein sehr komplizierter Vorgang – in Lehrbüchern wird er meist mit dem vereinfachten ABC-Modell erklärt. In den drei Gruppen A, B und C werden dabei verschiedene Kontrollgene zusammengefasst: Gene vom Typ A kontrollieren die Bildung der Kelchblätter, durch das Zusammenwirken von A und B entstehen die Kronblätter und durch die gleichzeitige Ausprägung von B und C formen sich schließlich die Staubblätter. Die Fruchtblätter werden allein durch C festgelegt. Dieses Modell setzt voraus, dass die Gene A, B und C nur in ganz bestimmten Bereichen der Blüte aktiv sind und die A-Gene – dazu gehören auch die untersuchten microRNAs – beispielsweise die Expression der C-Gene in den beiden äußeren Blütenkreisen verhindern.

„Diese Vorhersage wird nun durch unsere Arbeiten widerlegt“, sagt Schwarz-Sommer. Tatsächlich wird die Blütenbildung weniger räumlich, sondern vor allem zeitlich-dynamisch reguliert. So beeinflusst die microRNA die Aktivität der C-Gene bereits in ihrem ursprünglichen Expressionsbereich im Zentrum der Blüte: Bei Überschreiten eines für die Autoregulation – die Kontrolle der Transkription eines Gens durch sein eigenes Genprodukt – benötigten Schwellenwerts unterdrückt sie die Expression der C-Gene. In der Blüte des Wildtyps wird der Schwellenwert zu einem frühen Zeitpunkt überschritten, sodass die C-Gene nur in den zwei inneren Blütenkreisen exprimiert werden. In der Mutante wird er erst später erreicht, wodurch auch weiter außen liegende Blütenorgane unter den Einfluss der C-Gene geraten.

Bei den Mutanten der Petunie und des Löwenmäulchens ist die „Grundordnung“ der Blüte durch den gleichen Gendefekt durcheinandergeraten – mit dem Ergebnis, dass „falsche Organe an der falschen Stelle“ wachsen.

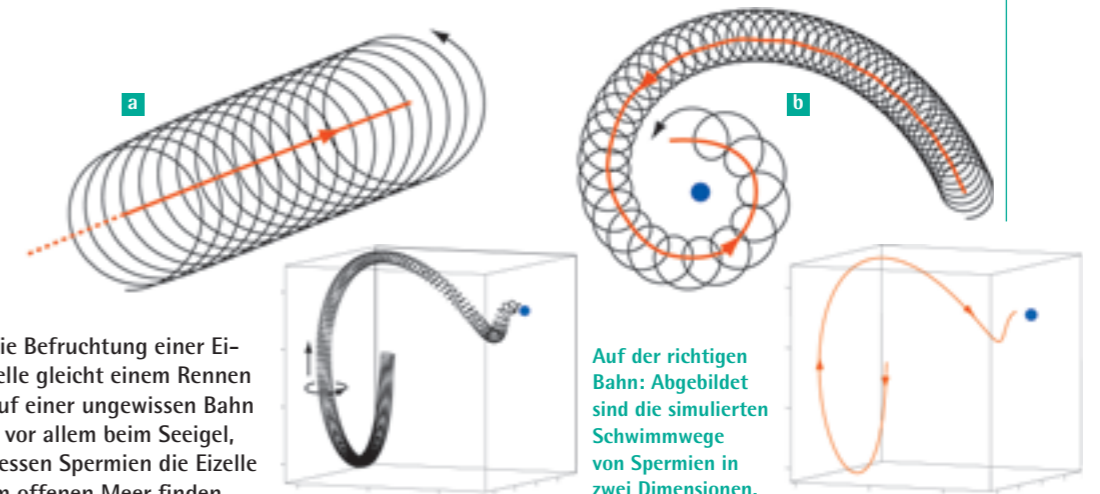
ABB.: MPI FÜR ZÜCHTUNGSFORSCHUNG

@ Kontakt:
DR. ZSUZSANNA
SCHWARZ-SOMMER
Max-Planck-Institut
für Züchtungsfor-
schung, Köln
Tel.: +49 221
5062-140
Fax: +49 221
5062-113
E-Mail: schwarz@
mpiz-koeln.mpg.de



BIOPHYSIK

Spermien auf Spiralkurs



Die Befruchtung einer Eizelle gleicht einem Rennen auf einer ungewissen Bahn – vor allem beim Seeigel, dessen Spermien die Eizelle im offenen Meer finden müssen. Orientieren können sie sich nur an chemischen Botenstoffen, die die Eizelle abgibt. Auf spiralförmigen Bahnen folgen die Spermien dieser chemischen Spur zu ihrem Ziel. Diese Chemotaxis haben Forscher vom Max-Planck-Institut für Physik komplexer Systeme in Dresden jetzt erstmals mathematisch beschrieben. (PNAS, 30. August 2007)

Damit die Befruchtung der Eizelle auch im Meer gelingt, wenden Seeigel gleich mehrere Tricks an: Die Weibchen setzen Eizellen frei, die 0,3 Millimeter und damit fast doppelt so groß wie menschliche Eizellen sind. Die männlichen Krustentiere schleusen zehn Milliarden Spermien ins Wasser – das sind 100-mal mehr, als ein Mensch losschickt. Und schließlich soll eine chemische Spur die Spermien, die einer spiralförmigen Bahn folgen, zum Ziel führen.

Wie diese Chemotaxis funktioniert, haben die Dresdener Forscher nun in einem Modell beschrieben. Demnach muss für eine erfolgreiche Navigation vor allem das Timing stimmen: Die Signalverarbeitung im Spermium muss auf die Periode ihrer Kreisbewegung abgestimmt sein.

Die nur etwa fünf Mikrometer großen Schwimmer nehmen die Fährte auf, indem sie von ihrem Schwanz, dem Flagellum, gesteuert einer Kreisbahn folgen und messen, wo auf dieser Kreisbahn die Konzentration der chemischen Lockstoffe am größten ist. In diese Richtung biegen sie dann ihre Bahn. Diese hat allerdings in einer Ebene auch weiterhin die Form einer Spirale und im dreidimensionalen Raum die einer Helix. Auf diese Weise bekommen die Spermien auch mit, wenn die Botenstoffe der Eizelle plötzlich in eine andere als die ursprünglich eingeschlagene Richtung weisen.

Im dreidimensionalen Raum kann ihre Bahn dabei komplizierte Formen annehmen. „Aber sie führt fast immer zum Ziel“, sagt Benjamin Fried-

Auf der richtigen Bahn: Abgebildet sind die simulierten Schwimmwege von Spermien in zwei Dimensionen. In Bild (a) bewegt sich das Spermium durch ein lineares Feld des Botenstoffes. Wie ein driftender Kreis (schwarze Linie) bewegt es sich vorwärts; der Mittelpunkt des Schwimmkreises (rote Linie) driftet in Richtung Signalstoff. Bild (b) zeigt ein radiales Signalfeld. Hierbei rotiert das Spermium entlang der spiralförmigen Bahn, die auf das Signal (blauer Punkt) gerichtet ist.

rich, der im Rahmen seiner Doktorarbeit an der Simulation tüftelte: „Unser Modell stimmt sehr gut mit experimentellen Beobachtungen überein und beschreibt den Mechanismus der Chemotaxis nun auch im Dreidimensionalen.“ Also unter realen Bedingungen. Dazu gehört auch, dass im offenen Wasser eine Strömung die Spur der Botenstoffe verwirbelt haben kann. Das bringt ein Spermium nicht von seinem Ziel ab, es richtet seine Bahnen einfach neu aus.

An der Eizelle vorbei trudelt es in dem Modell der Dresdener Wissenschaftler nur, wenn seine biochemische Steuerung zu schnell oder zu langsam auf eine sich ändernde Konzentration der Botenstoffe reagiert. Dann stimmt die Phasenverschiebung zwischen eingehendem Signal und der daraus resultierenden Bewegung nicht.

Genau die Erkenntnis, welche Rolle die Phasenverschiebung zwischen eingehendem Locksignal und der Bewegung spielt, liefert auch Anhaltspunkte für neue Experimente. „Um die Chemotaxis eingehender zu untersuchen, könnte man in die Signalverarbeitung der Spermien chemisch eingreifen“, sagt Friedrich.

Ähnliche Modelle wie das von den Dresdener Forschern entwickelte könnten auch helfen, die Bewegung der menschlichen Spermien aufzuklären. Auch sie werden chemotaktisch zur Eizelle gesteuert, schwimmen allerdings auf anderen Bahnen. Der Mechanismus ihrer Navigation hält also noch Überraschungen bereit.



@ Kontakt:
BENJAMIN
M. FRIEDRICH
Max-Planck-Institut
für Physik komplexer
Systeme,
Dresden
Tel.: +49 0351
871-1216
Fax: +49 351
871-1999
E-Mail: ben@
pks.mpg.de

ZELLBIOLOGIE

Chemische Schere gegen HIV

Eine HIV-Infektion lässt sich bislang nicht heilen. Die derzeitigen Therapien, die HIV-Positive lebenslang einnehmen müssen, verzögern nur den Ausbruch von AIDS. Sie können das Virus aber nicht aus infizierten Zellen entfernen. Das haben Wissenschaftler des Max-Planck-Instituts für molekulare Zellbiologie und Genetik in Dresden und des Hamburger Heinrich-Pette-Instituts für Experimentelle Virologie und Immunologie jetzt erstmals geschafft. Sie entwickelten ein spezielles Enzym, um das Erbgut eines HI-Virus aus der DNA der Zelle herauszutrennen und unbrauchbar zu machen. (SCIENCE, 29. Juni 2007)

Das HI-Virus schmuggelt sein Erbgut in die DNA von körpereigenen Zellen, vor allem von bestimmten weißen Blutkörperchen. Nach diesem Bauplan produzieren Immunzellen dann neue Erreger und sorgen so für ihren eigenen Untergang. Den Forschern um Joachim Hauber vom Heinrich-Pette-Institut in Hamburg und Frank Buchholz vom Max-Planck-Institut für molekulare Zellbiologie und Genetik in Dresden gelang es jetzt erstmals, das HIV-Erbmaterial wieder aus dem menschlichen Erbgut herauszuschneiden.

„Wir wurden das Virus in den Zellen wieder los, das war bislang noch nicht möglich“, sagten die Wissenschaftler. Dazu wurde mithilfe gentechnischer Methoden eine spezielle Rekombinase hergestellt, ein Enzym, das wie eine molekulare Schere arbeitet.

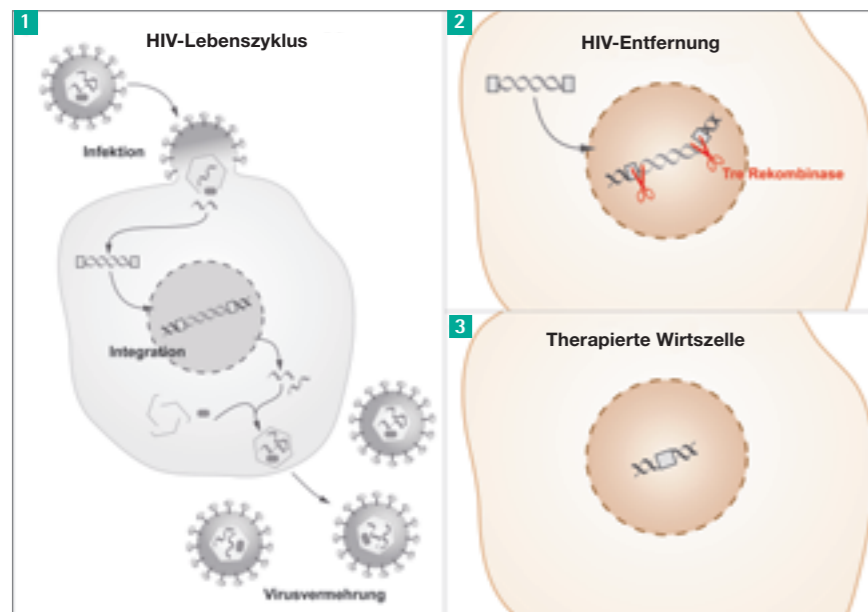
Rekombinasen spalten und organisieren DNA-Sequenzen neu. Natürlich vorkommende Rekombinasen eignen sich jedoch nicht, um die Gene des Virus aus dem menschlichen Erbgut herauszuschneiden. „Sie funktionieren nur bei den für sie angepassten Basenabfolgen“, sagt Buchholz: „Daher haben wir eine Rekombinase hergestellt, die das HIV-Erbgut erkennt und gezielt entfernt.“

Die Molekularbiologen züchteten die molekulare Schere für das HIV-Genom, indem sie im Reagenzglas die Evolution nachahmten: Sie gingen dabei von einer ursprünglichen Rekombinase aus, die nur bestimmte DNA-Sequenzen erkennt und schneidet. „Dieses Enzym, Cre, erkennt eine Sequenz, die dem HIV-Erbgut nur entfernt ähnlich ist“, erklärt Buchholz.

Daraus züchteten sie in über 120 Generationen das HIV-spezifische Enzym Tre heran: Mehr als 120 Mal erzeugten sie zufällige Mutanten des Gens, das für den Bauplan der Rekombinase steht. Die Enzyme, für die diese zufälligen genetischen Varianten kodierten, testeten sie als Schere, um das HIV-Erbgut aus dem menschlichen Erbgut zu entfernen. Die besten Versionen jeder Generation optimierten sie dann erneut durch Rekombination und anschließende Selektion. Am Ende des Evolutionsprozesses stand ein Enzym, welches eine im HIV-Genom vorkommende Sequenz erkennt und dann schneidet.

Bisher wurde Tre nur in Kulturen menschlicher Zellen getestet. „Aber unser neuer Ansatz schafft die technische Grundlage, um das Virus später einmal mittels einer Gentherapie aus Patienten zu entfernen, die mit HIV infiziert sind“, erläutert Hauber. Bis dahin ist es aber noch ein weiter Weg. Zunächst werden die Wissenschaftler das Enzym noch spezifischer und aktiver machen.

„Erst dann werden wir prüfen, wie effektiv und sicher wir die Rekombinase in die infizierten Zellen des menschlichen Körpers einbringen können“, sagt Buchholz. Infrage kommen dafür Viren, die den Bauplan für die beste molekulare Schere als Genfähren in infizierte Zellen schleusen. Möglicherweise aber lassen sich die Enzyme mit entsprechenden molekularen Türöffnern versehen und direkt etwa in befallene weiße Blutkörperchen schmuggeln.



Teufelskreis unterbrochen: Nachdem das HI-Virus eine Zelle befallen hat (Bild 1), integriert es sein Erbgut in das Zellgenom und wird reproduziert. Die neugezüchtete Tre-Rekombinase erkennt die HIV-Sequenz im Zellgenom und schneidet sie heraus (Bild 2), sodass eine Wirtszelle ohne HIV-Genom zurückbleibt (Bild 3).

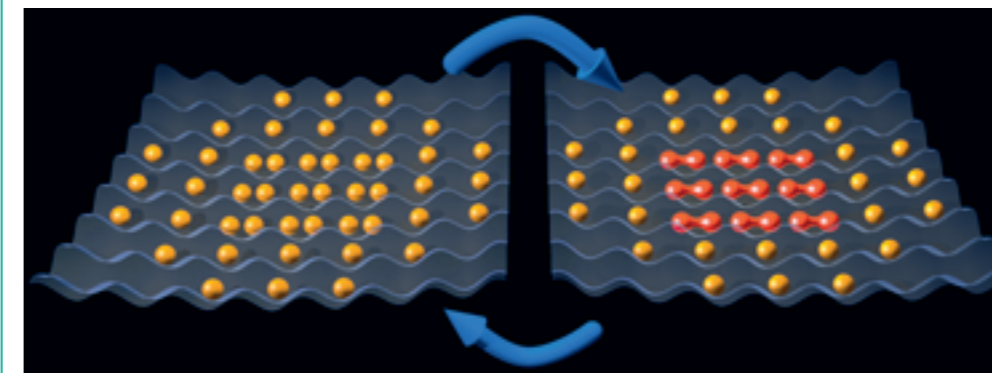
ABB.: BUCHHOLZ / HAUBER

Kontakt:
DR. FRANK BUCHHOLZ
 Tel.: +49 351 210-2888
 Fax: +49 351 210-1289
 Max-Planck-Institut für molekulare Zellbiologie und Genetik, Dresden
 E-Mail: buchholz@mpi-cbg.de

Panorama

GENE LASSEN BEINE ZAPPELN: Das Restless-legs-Syndrom (RLS) ist mit einer Reihe von Genen verquickt, die während der Embryonalentwicklung die Ausbildung der Extremitäten und des Nervensystems steuern. Zu diesem Befund kam ein internationales Team, darunter Wissenschaftler des Münchener Max-Planck-Instituts für Psychiatrie, durch vergleichende Analysen der Genome von RLS-Patienten und gesunden Kontrollen. Die verdächtigen Gene liegen auf drei Chromosomen und kontrollieren im Embryo die Entwicklung von Muskelzellen sowie der Nervenbahnen, die Schmerz- und Berührungssreize leiten. Von einem der Gene ist ferner bekannt, dass es auch im erwachsenen Organismus noch die Produktion des Nervenbotenstoffs Dopamin regelt – ein besonders wichtiges Indiz: Dopamin-Präparate gelten für die Behandlung von RLS als erste Wahl. Noch ist allerdings zu klären, wie die fraglichen Gene zur Entstehung von RLS beitragen – und warum dieser quälende Drang, die Beine bewegen zu müssen, meist erst in höherem Alter auftritt.

ropäischen Gammastrahlungen lieferte die charakteristischen Signale, die beim Zerfall des Eisen 60 entstehen – das mit einer Halbwertszeit von 1,5 Millionen Jahren zunächst zu Cobalt 60 und dann mit einer Halbwertszeit von 5,3 Jahren zu stabilem Nickel zerfällt. Für die Astrophysik eröffnet dieser Nachweis Einblick ins Innere von massereichen Sternen, die nacheinander Phasen der Kernfusion von zunächst leichten zu immer schwereren Elementen durchlaufen und deshalb einen zwiebelschalenähnlichen inneren Aufbau entwickeln. In denselben Sternentypen entsteht auch – allerdings in anderen Regionen und Entwicklungsphasen – das radioaktive Aluminium 26, das bereits vor 30 Jahren im interstellaren Raum nachgewiesen wurde: Aus dem Vergleich der Gammastrahlung von Aluminium 26 mit der von Eisen 60 hofft man nun die Modelle zur Entstehung schwerer Elemente in massereichen Sternen testen zu können, die bestimmte Werte für das Verhältnis dieser beiden Isotope postulieren.



Zwischen Partnerschaft und Single-Dasein: In der Mitte des Bose-Einstein-Kondensats befinden sich Pärchen von Atomen (gelb), die in Moleküle überführt werden (rot) und umgekehrt. Diese räumliche Anordnung kann periodisch wiederholt werden.

ZWITTER AUS ATOMEN UND MOLEKÜLEN haben Forscher am Garchinger Max-Planck-Institut jetzt erstmals beobachtet. Dazu fingen sie Rubidium-Atome in einer optischen Falle ein und kühlten sie auf wenige Milliardstel Grad Kelvin ab: Die rund 60.000 Atome dieses sogenannten Bose-Einstein-Kondensats haben die Wissenschaftler dann mithilfe eines dreidimensionalen Gitters aus stehenden Lichtwellen in einer regelmäßigen Struktur angeordnet – gleich Eiern in einem Eierkarton, wobei sie aber im inneren Bereich dieses Raumgitters jeweils zwei Rubidium-Atome in einer Mulde platzierten. Diese Atompaaire haben sie dann durch ein äußeres Magnetfeld so angeregt, dass sie zwischen Single-Dasein und molekularer Bindung oszillierten. In Zuständen zwischen diesen beiden Daseinsformen sind die Teilchen jedoch beides gleichzeitig. Atom und Molekül.

ENZYM-DOPING FÜR PFLANZEN, die Biokraftstoffe liefern, rückt in greifbare Nähe. Am Max-Planck-Institut für Biochemie in Martinsried wurde der molekulare Aufbauhelfer für das Enzym Rubisco gefunden – das häufigste Enzym in der Natur: Es bindet Kohlendioxid aus der Luft und speist es in die Zuckersynthese von Pflanzen und Blaualgen ein, also in die Produktion von Biomasse. Rubisco besteht aus acht großen und acht kleinen Untereinheiten, und diese Bauteile müssen jeweils funktionsgerecht zum fertigen Enzym verbunden werden. Das gelingt nicht immer optimal, weshalb Rubisco nur in drei von vier Reaktionen das Kohlendioxid in Zuckermoleküle bindet. Mit dem jetzt in Martinsried entdeckten, für den Zusammenbau von Rubisco verantwortlichen Enzym – einem sogenannten Chaperon – und dem Einblick in dessen Wirkungsweise könnte Rubisco auf gentechnischem Weg optimiert und seine Effektivität erhöht werden: Derart getunte Pflanzen würden auch ohne künstlichen Dünger rascher wachsen und könnten Biosprit mit verbesserter Kohlenstoff-Bilanz liefern.

ABB.: MPI FÜR QUANTENOPTIK



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