



FORSCHUNG aktuell



Ein Mönchsgrasmücken-Pärchen, links das Weibchen mit brauner, rechts das Männchen mit schwarzer Kappe. Die Weibchen paaren sich bevorzugt mit Männchen aus demselben Überwinterungsgebiet.

ORNITHOLOGIE

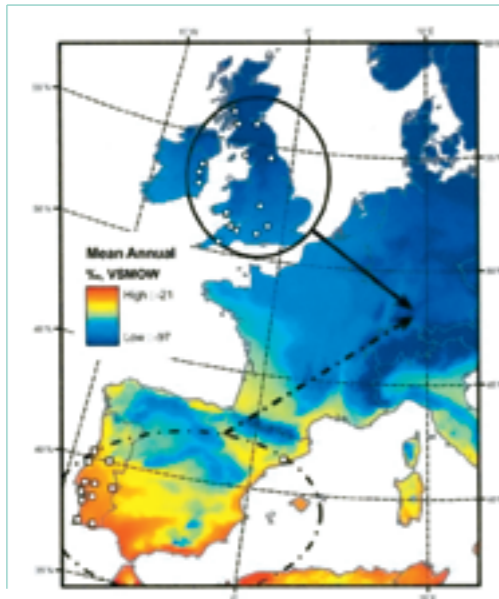
England-Zieher bleiben unter sich

Vor 50 Jahren galt die Mönchsgrasmücke als reiner Sommergast in Nordeuropa und auf den britischen Inseln. Anfang der 1960er-Jahre überwinterten zunächst einige wenige Individuen und schließlich immer mehr Vögel in Großbritannien und Irland. Von Oktober 2003 bis März 2004 konnten Ornithologen dort schließlich in jedem dritten Hausgarten Mönchsgrasmücken an den Futterhäuschen beobachten. Max-Planck-Forscher der Vogelwarte Radolfzell hatten schon Anfang der 1990er-Jahre eine Hypothese aufgestellt, warum diese nach England ziehende Population so rasch angewachsen ist. Nun konnten sie handfeste Beweise dafür erbringen. (SCIENCE, 21. Oktober 2005)

Foto: MPI für Ornithologie

Untersuchungen hatten gezeigt, dass die in Großbritannien und Irland überwinterten Mönchsgrasmücken in Süddeutschland und Österreich brüten. Nach allem, was man bisher wusste, sollten die Vögel von dort nach Spanien, Portugal oder Nordafrika ziehen. Was hatte sie bewogen, so unvermittelt auf die britischen Inseln „umzubuchen“? An der Vogelwarte in Radolfzell sind Mönchsgrasmücken schon seit Jahrzehnten die bevorzugten Laborvögel. In langjährigen Untersuchungen konnten Peter Berthold und seine Mitarbeiter zeigen, dass der Vogelzug tatsächlich eine genetische Grundlage hat. Innerhalb einer Population von Zugvögeln streut die genetisch programmierte Zugrichtung immer um einen Mittelwert. Bei Mönchsgrasmücken treten gelegentlich

GRAPHIK: SCIENCE VOL. 310, 2005



Die Karte zeigt das jährliche durchschnittliche Wasserstoff-Isotopen-Verhältnis $\delta^2\text{H}$ (angegeben als VSMOW, Vienna Standard Mean Ocean Water) im Regen in Westeuropa sowie die Überwinterungsgebiete der Mönchsrasmücken (durchgezogener und gestrichelter Kreis) und die Orte der Probennahme zur Gewinnung der Referenzwerte für die spätere Herkunftsbestimmung im Brutgebiet (weiße Kreise und Quadrate). Die $\delta^2\text{H}$ -Werte in den nördlicheren Breiten sind niedriger als im Süden. Die Pfeile repräsentieren die ungefähre Zugrichtung im Frühling.

Abweichungen von 30 bis 40 Grad auf – und so kann ein Vogel, der sich am nordwestlichen Rand dieses Zugfächers bewegt, durchaus einmal nach Großbritannien gelangen. Wirklich neu ist dieses Ziel also wohl kaum. Allerdings muss es für die in Großbritannien und Irland überwinternden Vögel einen erheblichen Fitnessgewinn geben, damit die England-Zieher in Konkurrenz mit ihren weiter südlich in Portugal und Spanien überwinternden Artgenossen erfolgreich mithalten können: Nur so lässt sich der enorme Anstieg der Population erklären.

Die Forscher spekulierten, dass die weitaus kürzere Zugstrecke für die Vögel Ressourcen schonender ist als der Weg von und nach Spanien. Darüber hinaus finden sich in Großbritannien besonders viele Vogelliebhaber, welche die Singvögel im Winter an den Futterhäuschen durchfüttern. Ein weiterer entscheidender Selektionsfaktor sollte nach Ansicht der Max-Planck-Forscher aber der Zeitvorsprung der England-Zieher sein: Die kürzeren Tage in Großbritannien bewirken – über lichtphysiologische Regelkreise –, dass die Zugaktivität und die Reifung der Keimdrüsen bei den Vögeln etwa zehn Tage früher erreicht wird als bei ihren im Süden überwinternden Artgenossen. Deshalb kommen die Mönchsrasmücken aus den nördlicheren Breiten auch früher im Brutgebiet an und können die besten Brutplätze besetzen. Da zunächst ganz unter sich, dürften sie sich auch vorwiegend untereinander paaren. Das schließlich sollte ihren Be-

stand innerhalb der Gesamtpopulation rasch ansteigen lassen. Experimentelle Belege für diese Hypothese gab es bisher nicht.

In ihrer jüngsten Publikation in SCIENCE konnten Wolfgang Fiedler und Peter Berthold mit ihren Kollegen von der Queen's University in Belfast diese These nun anhand der Wasserstoff- und Kohlenstoff-Isotope in den Geweben von Zugvögeln überprüfen. Der lokale Niederschlag weist nämlich ein spezifisches Isotopenmuster auf, das sich auch im Gewebe der Vögel wiederfindet: So ist die Wasserstoffisotopen-Signatur bei Vögeln aus Großbritannien und Irland signifikant niedriger als bei jenen aus Spanien und Portugal. Die Forscher konnten daher davon ausgehen, dass die Isotopensignatur des Gewebes Rückschlüsse auf das Überwinterungsgebiet zulässt.

Im Sommer 2002 und 2003 untersuchten sie an acht verschiedenen Plätzen in Süddeutschland und Österreich brütende Mönchsrasmücken. Die Vogelpärchen wurden, kurz nachdem sie ihr Brutterritorium eingenommen hatten, eingefangen. Dann analysierten die Forscher die Fußkrallen. Sie wachsen relativ langsam, sodass die Krallenspitzen noch im späten Winter aufgebaut worden sind und somit einen Hinweis auf das Überwinterungsgebiet der Vögel liefern. Die Isotopensignatur zeigte, dass sich Männchen aus Großbritannien und Irland 2,5-mal häufiger mit Weibchen zusammen fanden, die aus demselben Überwinterungsgebiet stammten, als es bei einer zufälligen Verteilung der Fall gewesen wäre.

Und es offenbarte sich auch der Fitnessgewinn: Weibchen, die sich mit Männchen mit niedriger Isotopensignatur (Kennzeichen für eine Überwinterung in nördlicheren Breiten) paarten, produzierten größere Gelege und waren auch erfolgreicher bei der Brut als ihre Artgenossinnen aus dem Süden. Dieses scheint ein Ergebnis der Qualität des Brutterritoriums zu sein. Da die frühzeitiger im Brutgebiet eintreffenden Vögel auch die besten Brutplätze besetzen können, verbessern sich in der Regel die Überlebensbedingungen für die brütenden und später fütternden Weibchen.

Darüber hinaus könnte die Partnerwahl in dieser Mönchsrasmückenpopulation durch strenge Selektion gegen die Nachkommen von Hybridpaaren gefördert werden. Bei Nachkommen, deren einer Elternteil aus Spanien, der andere aus England stammt, sind Zugrichtung und Zugdistanz ein Zwischenprodukt des genetischen Zugprogramms der Eltern. Das würde sie auf Flüge leiten, die in weniger geeigneten Winterquartieren enden.

Langfristig könnten sich durch das Paarungsverhalten auch zwei verschiedene Arten aus den nach Norden und den nach Süden ziehenden Vögeln bilden, das zumindest mutmaßt die Kommentatorin des SCIENCE-Artikels.



© Weitere Informationen erhalten Sie bei: DR. WOLFGANG FIEDLER und PROF. DR. PETER BERTHOLD Vogelwarte Radolfzell am Max-Planck-Institut für Ornithologie, Radolfzell Tel.: +49 7732 1501-60 Fax: +49 7732 1501-69 E-Mail: fiedler@orn.mpg.de

FESTKÖRPERFORSCHUNG

Ein Paddel auf molekularer Achse

In den vergangenen Jahrzehnten sind nach elektronischen auch mechanische Bauteile auf immer kleinere Dimensionen geschrumpft: Mittels lithografischer Verfahren aus der Mikroelektronik ließen sich winzige mechanische Komponenten und schließlich mikroelektromechanische Systeme herstellen. Einen neuen Grenzstein in Sachen Miniaturisierung haben jetzt Wissenschaftler am Stuttgarter Max-Planck-Institut für Festkörperforschung gesetzt. Ihnen gelang es, mikroskopisch kleine Paddel aus Metall schwenkbar auf Kohlenstoff-Nanoröhrchen von nur eineinhalb millionstel Millimeter Durchmesser zu lagern. (SCIENCE, 2. September 2005)

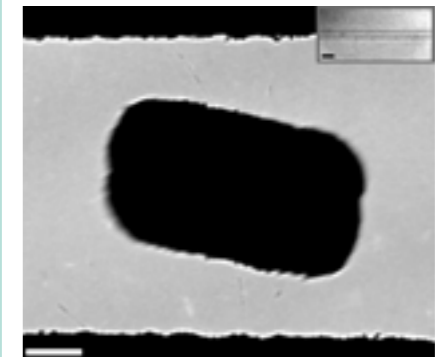
Kohlenstoff-Nanoröhrchen sind lang gestreckte Moleküle mit außerordentlichen elektrischen und mechanischen Eigenschaften; insbesondere einwandige Nanoröhrchen bieten sich für elektronische Anwendungen an. Ihr Durchmesser beträgt ein bis drei Nanometer (millionstel Millimeter), etwa vergleichbar dem Durchmesser der DNA-Doppelhelix. Die Stuttgarter Max-Planck-Forscher haben untersucht, ob sich mit einwandigen Nanoröhrchen auch mechanische und elektromechanische Komponenten mit winzigen Abmessungen herstellen lassen. Dazu hängten sie lithografisch erzeugte Metallblöcke an einem einzelnen einwandigen Kohlenstoff-Nanoröhrchen auf.

Diese Metallblöcke sind unter einem optischen Mikroskop sichtbar, werden aber durch ein fast tausendfach kleineres einzelnes Molekül getragen. Im optischen Mikroskop – wie auch bei kleinerer Vergrößerung im Elektronenmikroskop – sieht man daher ein scheinbar frei schwebendes Objekt. Erst bei höherer Vergrößerung im Transmissions-Elektronenmikroskop lässt sich das Molekül erkennen, das die Struktur trägt.

Das aufgehängte Objekt kann durch ein elektrisches Feld bewegt werden. Dabei dient das Nanoröhrchen als molekulare Achse, die durch Torsion deformiert wird. Die Struktur wird dabei von nur

wenigen molekularen Bindungen getragen: Auf einem Querschnitt durch eine Kohlenstoff-Nanoröhre liegen nur etwa 20 Kohlenstoffbindungen; die genaue Struktur der Röhrchen bestimmten die Wissenschaftler durch Elektronenbeugung.

Derartige Bauteile könnten eines Tages als Funktionselemente in nanoelektromechanischen Systemen dienen – so als winzige bewegliche Spiegel in optischen Anwendungen, etwa für die Telekommunikation. Ebenso ließen sie sich als Sensoren verwenden, da bereits sehr kleine Kräfte



Transmissions-elektronenmikroskopische Aufnahme eines beweglich aufgehängten Objekts. Eine allein durch die thermische Energie angeregte Torsionsschwingung ist als unscharfe Kante zu erkennen. Die stark vergrößerte Abbildung rechts oben zeigt das rohrförmige Molekül, auf dem der Metallblock befestigt ist. Es hat einen Durchmesser von nur 1,5 Nanometer und ist somit kleiner als die Doppelhelix der DNA. Der Maßstab entspricht 200 Nanometern und – im vergrößerten Ausschnitt – 2 Nanometern.

eine Drehung des Metallblocks und damit auch eine Verformung der Nanoröhrchen bewirken. Max-Planck-Forscher Jannik Meyer erwartet, dass sich die elektrische Leitfähigkeit der Nanoröhrchen stark mit deren Verformung ändert – dass also diese Verformung einfach elektrisch detektierbar wäre. So beobachteten die Wissenschaftler, dass bereits die thermische Energie bei Raumtemperatur eine deutlich sichtbare Vibration des Metallblocks hervorruft, was die Empfindlichkeit dieses Systems zeigt.

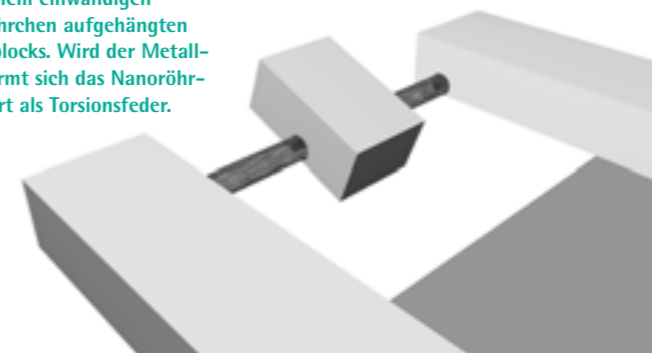
Meyer und seine Kollegen halten auch kompliziertere mechanische Systeme für denkbar, in denen mehrere frei aufgehängte Objekte untereinander über Nanoröhrchen verbunden sind. Zunächst allerdings geht es darum, das Verhalten von Kohlenstoff-Nanoröhrchen unter Verformung genau zu analysieren. Und so dient das Stuttgarter Nanopaddel in jedem Fall als wertvolles Instrument der Grundlagenforschung.



© Weitere Informationen erhalten Sie von: JANNIK C. MEYER Max-Planck-Institut für Festkörperforschung, Stuttgart Tel.: + 49 711 689-1317 Fax: + 49 711 689-1010 E-Mail: j.meyer@fkf.mpg.de

FOTOS: MPI FÜR FESTKÖRPERFORSCHUNG

Schema eines auf einem einwandigen Kohlenstoff-Nanoröhrchen aufgehängten beweglichen Metallblocks. Wird der Metallblock gedreht, verformt sich das Nanoröhrchen und funktioniert als Torsionsfeder.



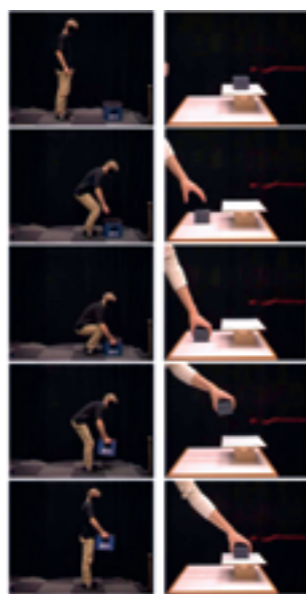
NEUROWISSENSCHAFTEN

Das Ich als Spiegel des Anderen

Wie können wir uns vorstellen, was andere Menschen gerade denken oder beabsichtigen? Psychologen und Neurowissenschaftler führen dies auf eine Art Simulation zurück, die in unserem Gehirn abläuft, sobald wir eine handelnde Person beobachten. Die Aktivität der beobachteten Person wird innerlich imitiert. Forscher des Max-Planck-Instituts für Kognitions- und Neurowissenschaften in München konnten jetzt in Kooperation mit Wissenschaftlern der University of Bournemouth (England) sowie der Rutgers University in Newark (USA) zudem belegen, dass wir Handlungen anderer Personen auf der Basis unseres eigenen Handlungsvermögens nachvollziehen. (NATURE NEUROSCIENCE, Oktober 2005)

Ausschnitte aus den verwendeten Videofilmen: Versuchspersonen beim Anheben von unterschiedlich schweren Kisten. Die Gesichter wurden verdeckt, damit die Patienten und Kontrollpersonen ihre Einschätzung der Bewegungsabläufe unbeeinflusst von sich im Gesichtsausdruck der Akteure abzeichnen konnten.

Der Nachweis gelang dem Team um Simone Bosbach und Wolfgang Prinz am Beispiel von zwei Patienten, die durch eine seltene Erkrankung die Fähigkeit verloren hatten, ihren eigenen Körper wahrzunehmen. Die beiden Patienten sind weltweit die einzigen bekannten Fälle mit diesem Krankheitsbild. Die Wissenschaftler haben nachgewiesen, dass beide Probanden tatsächlich Defizite in der Interpretation von Handlungen anderer Personen haben.



Bosbach und ihre Kollegen konfrontierten nun diese Patienten mit Videofilmen, in denen Personen gebeten wurden, unterschiedlich schwere Kisten anzuheben. Die Patienten sollten das Gewicht der Kisten schätzen – und zwar ausschließlich aus dem Bewegungsablauf der jeweiligen Person im Film. Es zeigte sich, dass die Patienten das Gewicht ebenso korrekt einschätzen konnten wie gesunde Kontrollpersonen. Offenbar wussten sie, dass eine langsame Körperbewegung eher ein schwere Last anzeigt und eine schnellere eher auf ein geringeres Gewicht deutet.

Auch im zweiten Teil des Tests sahen die Patienten Videofilme von Personen, die Kisten anhoben. Allerdings wurden die Personen in einigen Fällen im Film über das Gewicht getäuscht. So erhielt der Akteur vor dem Anheben die Information, er solle eine 18 Kilogramm schwere Last heben – tatsächlich betrug aber das Gewicht nur drei Kilogramm. Die Patienten sollten angeben, ob die Person in dem Videofilm die richtige oder die falsche Erwartung bezüglich des Gewichts hatte. Wurden die Personen im Film hinsichtlich des Gewichts getäuscht, zeigten sich charakteristische Abwei-

chungen im Bewegungsablauf zwischen der Phase, in der sich der Akteur auf das Anheben der Kiste vorbereitete (etwa in Erwartung einer schweren Kiste), und der Phase, in der die Hebebewegung tatsächlich ausgeführt wurde.

Gesunden Kontrollpersonen gelang es bei dieser zweiten Aufgabe problemlos, die Situation richtig einzuschätzen. Die beiden Patienten hingegen erkannten schlechter, ob die Person vor dem Anheben das Gewicht richtig eingeschätzt hatte.

Schließlich baten die Wissenschaftler in einem weiteren Experiment einen der Patienten Kisten anzuheben und filmten ihn dabei. In einigen Fällen wurde der Patient über das Gewicht getäuscht, ehe er die Hebebewegung ausführte. Dann sollten gesunde Kontrollpersonen beurteilen, ob der Patient das richtige Gewicht erwartet hatte. Bei dieser Aufgabe versagten die Kontrollpersonen, denn der Bewegungsablauf des Patienten zeigte im Falle einer falschen Erwartung nicht die charakteristische Diskrepanz zwischen der Bewegungsvorbereitung und -ausführung.

Dies bedeutet, dass die Patienten aufgrund des Fehlens der Eigenwahrnehmung ihre Bewegungen nicht an ihre Erwartungen hinsichtlich des Gewichts anpassen können. Die Patienten hatten also keine Möglichkeit, sich zuvor auf die Last einzustellen. Aus diesem Grund gelang es ihnen auch nicht, bei anderen Personen Bewegungsabläufe in Hinblick auf die zugrunde liegenden Erwartungen richtig auszuwerten.

Bewegungsmuster, die im Gehirn aktiviert werden, wenn wir eine andere Person beobachten, enthalten auch Informationen über die Funktionsweise unseres eigenen Körpers. Die Bewegungsmöglichkeiten unseres eigenen Körpers sind somit die Referenz, von der ausgehend wir die Handlungen anderer Personen interpretieren. Was wir also selbst können, verstehen wir auch bei anderen. Und umgekehrt: Was wir selbst nicht können, verstehen wir auch bei anderen nicht. Rückmeldungen von unserem Körper tragen offenbar zu unserem intuitiven Wissen über die Absichten anderer Personen bei. Auf diese Weise können wir nicht nur Handlungsfolgen vorhersagen, sondern uns sogar in die andere Person hineinversetzen. Ein solcher Mechanismus ist die Basis für Mitgefühl und Empathie und somit entscheidend für das Gelingen und Fortbestehen sozialer Beziehungen.

FOTOS: MPI FÜR KOGNITIONS- UND NEUROWISSENSCHAFTEN

④ Weitere Informationen erhalten Sie von:
DR. SIMONE BOSBACH
 Institute of Cognitive Neuroscience
 University College London
 17 Queen Square
 London, WC1N3AR
 Tel.: + 44 20 7679-11 54
 Fax: + 44 20 7813-2835
 E-Mail: bosbach@cbs.mpg.de

KOLLOID- UND GRENZFLÄCHENFORSCHUNG

Perlmutter glänzt durch Festigkeit

Perlmutter wird nicht nur gern als Schmuck verwendet, es ist auch ein hervorragender Werkstoff. Es besteht zu mindestens 97 Prozent aus Kalk, hat aber eine dreitausendfach höhere Bruchfestigkeit – weil das Material in Schichten aufgebaut ist. Diese haben jetzt Wissenschaftler des Max-Planck-Instituts für Kolloid- und Grenzflächenforschung in Potsdam und der Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung (BAM) im Detail untersucht. Das Ergebnis: Die Oberfläche der einzelnen Aragonitplättchen, aus denen das Perlmutter zusammengesetzt wird, besteht nicht aus einer geordneten, dreidimensionalen Struktur von Molekülen. Vielmehr ist sie aus ungeordneten Molekülen geformt und damit gewellt. (PNAS, 6. September 2005)

Die außergewöhnliche Bruchfestigkeit verdankt das Perlmutter seinem schichtförmigen Aufbau aus weichen organischen Lagen und harten Aragonitplättchen. Aragonit ist eine Modifikation von Kalziumkarbonat, bei dem die Moleküle in einem orthorhombischen Gitter angeordnet sind. „Man kann sich die Struktur des Perlmutter wie die Ziegelsteinbauweise eines Hauses vorstellen, bei der die Aragonitplättchen die Ziegelsteine sind und von einer weichen organischen Matrix, dem Mörtel, umhüllt werden.“

Das organische Gerüst besteht aus sehr dünnen Chitinschichten, auf denen wasserunlösliche Proteine fest angelagert sind“, sagt Helmut Cölfen vom Max-Planck-Institut für Kolloid- und Grenzflächenforschung. Chitin ist ein Polysaccharid aus vielen miteinander verbundenen stickstoffhaltigen Zuckerbausteinen. Vor allem Insekten nutzen das Chitin als Hightech-Verbundwerkstoff.

Die Potsdamer Materialforscher interessierten sich nun für den Detailaufbau des Perlmutter. Sie wollten wissen, wie die Grenzfläche zwischen den Aragonitplättchen und der organischen Matrix aufgebaut ist. Für ihre Materialuntersuchungen an den Aragonitplättchen verwendeten die Wis-

senschaftler die Schale der Schnecke *Haliotis Laevigata*. Ihre Außenseite besteht aus Calcit und ihre Innenseite ist mit Perlmutter ausgekleidet.

Mithilfe der hoch aufgelösten Transmissions-Elektronenmikroskopie und der Kernresonanzspektroskopie fanden die Materialforscher heraus, dass an der Grenzfläche zwischen der weichen or-



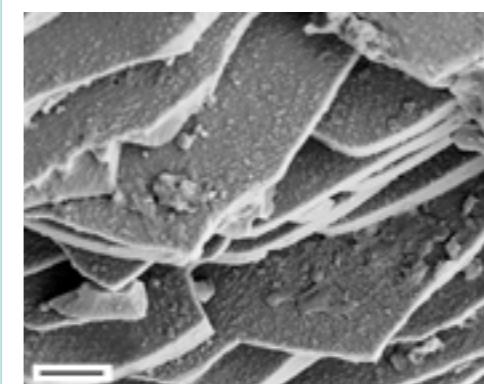
Die Schale der Schnecke *Haliotis Laevigata*. In den Kreisen sind Einblicke in die Feinstruktur des Perlmutter gezeigt – mit von links nach rechts steigender Vergrößerung. Die Aufnahmen entstanden mit dem Rasterelektronenmikroskop (rot) sowie dem Transmissions-Elektronenmikroskop (gelb und orange).

ganischen Matrix und den Aragonitplättchen eine nur fünf Nanometer (millionstel Millimeter) dicke Lage aus ungeordnetem Kalziumkarbonat existiert. Diese aus ungeordneten Molekülen bestehende Grenzfläche entsteht wahrscheinlich durch Verunreinigungen, die sich dort ansammeln. Bei der Kristallisation, also der Anordnung der Moleküle zum Aragonit, werden diese nicht in das orthorhombische Kristallgitter eingebaut.

Könnte man das Bauprinzip des Perlmutter kopieren, käme es zu einer Revolution der Materialindustrie. Die Ingenieure könnten festere Gipskartonplatten oder leichtere Betonteile bei gleicher Festigkeit herstellen. Doch bis dahin ist es noch ein weiter Weg. Vorerst versuchen die Potsdamer Max-Planck-Wissenschaftler, Perlmutter auf seinem organischen Gerüst herzustellen. Damit erhoffen sie sich Aufschluss über den Bildungsmechanismus des Materials. Bisher ist es ihnen schon gelungen, Calcitplättchen dort wachsen zu lassen; Calcit ist die thermodynamisch stabile Form des Kalziumcarbonats. Bald soll der Aragonit folgen. Schwieriger wird es jedoch, das organische Gerüst des Perlmutter zu synthetisieren. Derzeit verwenden die Materialforscher noch die natürliche Matrix. „Das organische Gerüst als Grundlage für die Züchtung zu kopieren ist die größte Herausforderung, da es in der Natur über Zellprozesse entsteht“, sagt Helmut Cölfen.

FOTOS: MPI FÜR KOLLOID- UND GRENZFLÄCHENFORSCHUNG

Bruchfläche von Perlmutter im Rasterelektronenmikroskop. Die Länge des Balkens entspricht einem Mikrometer.



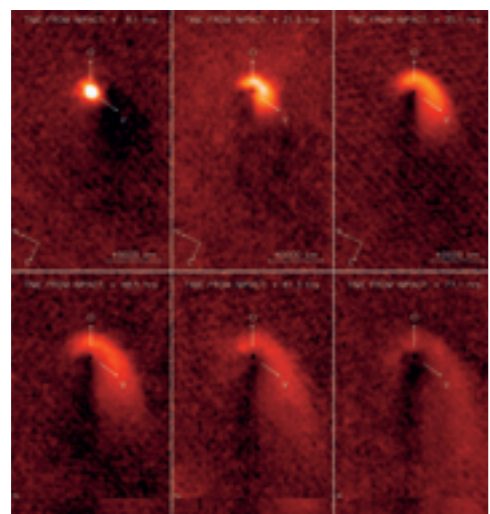
④ Weitere Informationen erhalten Sie von:
DR. HELMUT CÖLFEN
 Max-Planck-Institut für Kolloid- und Grenzflächenforschung, Potsdam
 Tel.: + 49 331 567-9513
 Fax: + 49 331 567-9502
 E-Mail: helmut.coelfen@mpikg.mpg.de

SONNENSYSTEMFORSCHUNG

Staubiger Bruder im All

Am 4. Juli machte die US-Raumsonde *Deep Impact* ihrem Namen alle Ehre und feuerte ein Projektil in den Kometen Tempel 1. Teleskope rund um den Globus verfolgten die kosmische Kollision, insbesondere die Entwicklung der ausgeworfenen Materiewolke. Einen Logenplatz unter den Spähern hatte die europäische Sonde *Rosetta*. Deren Bordkamera OSIRIS – gebaut unter Federführung des Max-Planck-Instituts für Sonnensystemforschung in Katlenburg-Lindau – nahm Tempel 1 kontinuierlich fünf Tage vor bis zehn Tage nach dem Einschlag auf und erreichte damit die beste zeitliche Abdeckung aller Beobachter. Aus den Bildern schließen die Forscher unter anderem, dass der Komet mehr Staub als Wasser enthält. (NATURE, 13. Oktober 2005, und SCIENCE, 14. Oktober 2005).

Die Folgen des Einschlags auf dem Kometen waren deutlich sichtbar. Nachdem das 380 Kilogramm schwere Kupfergeschoss der Raumsonde *Deep Impact* mit einer Geschwindigkeit von 36000 Kilometern pro Stunde den Kern des Schweifsterns getroffen hatte, bildete sich eine große Staubfontäne. Die OSIRIS-Kamera verfolgte das Spektakel aus sicherer Entfernung von Bord



Gelungener Blattschuss: Die abgebildete Fotosequenz reicht von 8,1 bis 77,1 Stunden nach dem Treffer und zeigt die Entwicklung des Kometenstaubs (0 gibt die projizierte Richtung zur Sonne an, V die Flugrichtung von Tempel 1). Die ersten Ergebnisse: Die Oberfläche des 7,6 Kilometer langen Kerns besteht aus feinsten Partikeln und ist offenbar anders zusammengesetzt als sein Inneres. Außerdem war die Masse des Staubs in der Wolke wesentlich größer als die des Eises.

der Muttersonde aus. Die Max-Planck-Wissenschaftler verglichen die dabei gewonnenen Daten mit denen der normalen Koma des Kometen vor und nach dem Ereignis. Die Koma umhüllt den Kern eines Schweifsterns wie eine Atmosphäre. Sie besteht vor allem aus Wasserdampf und Staub, die durch Sonneneinstrahlung von der Oberfläche des kosmischen Körpers abgelöst werden. Das Eis geht dabei in den gasförmigen Zustand über, ohne zu verflüssigen: Es sublimiert. Die frei werdenden Moleküle werden schneller,

reißen die Staubteilchen mit und beschleunigen sie zusätzlich.

Der Staub in der Koma ist sichtbar, da er das Sonnenlicht reflektiert. Der beim Einschlag freigesetzte Staub wurde mit der Telekamera von OSIRIS mit einer Auflösung von 3000 Kilometern beobachtet. In den Stunden und Tagen nach dem Einschlag zeigte sich der zusätzliche Staub durch einen Helligkeitszuwachs in der Koma. Es bildete sich zunächst eine Wolke, die aufgrund der Geometrie des Auswurfs aus dem Krater halbkreisförmig war. Später wurde der Staub durch den Strahlungsdruck des Sonnenlichts von der Sonne weg beschleunigt. Aus der Entfernung der Staubwolke vom Kern in verschiedenen Bildern schätzten die Forscher das Tempo des Staubs ab: Die Teilchen entfernten sich mit einer typischen Geschwindigkeit von etwa 110 Meter pro Sekunde vom Kern, die schnellsten Partikel mit mindestens 300 Meter pro Sekunde.

Der Anstieg der Helligkeit durch den beim Einschlag des Projektils erzeugten Staubs dauerte ungefähr 40 Minuten. Die Wissenschaftler vermuten, dass ein Großteil des Materials den Kometenkern beim Einschlag als eishaltige Staubkörner (*icy grains*) verlassen hat. Danach waren die einzelnen Körner dem Sonnenlicht ausgesetzt und sublimierten. Der Staub in den Körnern zerbröselte bei diesem Prozess. Mehr Staub hat eine größere Oberfläche und reflektiert so mehr Sonnenlicht; auf diese Weise steigt die Helligkeit an.

Die Wassermoleküle (H₂O) werden durch die ultraviolette Strahlung der Sonne zerlegt, größtenteils in OH + H. Die OH-Radikale fluoreszieren und konnten daher mit der Weitwinkelkamera von OSIRIS gemessen werden. Daraus wurde die beim Einschlag erzeugte Menge von Wasser berechnet. Sie ist mit 4500 Tonnen deutlich geringer als die geschätzte Gesamtmasse der Staubteilchen, die aus der Helligkeit des Staubs bestimmt wird. Die Vorstellung vom Kometen als einem „schmutzigen Schneeball“ aus den 1950er-Jahren sollte wohl korrigiert werden: Tempel 1 hat sich als „eisiger Staubball“ entpuppt.

Die Kameras gaben noch weiteren Einblick ins Innere des Kometen: Das Molekülradikal CN kommt im Auswurf des Einschlags relativ zum Wasser etwas häufiger vor als in der normalen Koma vor und nach dem Einschlag. Daraus schließen die Wissenschaftler, dass sich das Innere des Kometenkerns chemisch anders zusammensetzt als seine Oberfläche. Und: In den Stunden und Tagen nach dem Einschlag wurde keine erhöhte Aktivität des Kometen Tempel 1 entdeckt. Das legt die Vermutung nahe, dass die bei Kometen häufig beobachteten Helligkeitsausbrüche nicht von Meteoriteneinschlägen verursacht werden.

FOTOS: MPI FÜR SONNENSYSTEMFORSCHUNG / LABORATOIRE D'ASTROPHYSIQUE DE MARSEILLE



📧 Weitere Informationen erhalten Sie von: DR. MICHAEL KÜPPERS Max-Planck-Institut für Sonnensystemforschung, Katlenburg-Lindau Tel.: + 49 5556 979-463 Fax: + 49 5556 979-240 E-Mail: kueppers@linmpi.mpg.de

METEOROLOGIE

Meereis schmilzt dahin

Das Erdklima wird sich in den kommenden hundert Jahren rascher ändern als bisher prognostiziert. Es steht sogar zu erwarten, dass das Meereis in der nördlichen Polregion im Sommer vollständig abschmilzt. Und extreme Wetterereignisse werden sich in Europa weiter häufen und verstärken: Das zeigen neueste Modellrechnungen zur Entwicklung des Klimas, durchgeführt von Wissenschaftlern des Max-Planck-Instituts für Meteorologie in Hamburg.

Diese Vorhersagen lieferte ein Höchstleistungsrechner des Deutschen Klimarechenzentrums in Hamburg auf der Grundlage neuer Daten und Detailstudien der Klimaforscher. Demnach könnte die mittlere globale Temperatur bis zum Ende des Jahrhunderts um bis zu vier Grad ansteigen – schneller als je in der jüngeren Erdgeschichte. Der Meeresspiegel würde sich durch diese Erwärmung um bis zu 30 Zentimeter erhöhen. Im Sommer, so die Wissenschaftler, könnte unter bestimmten Bedingungen das Meereis in der Arktis vollständig abschmelzen.

Für Europa weisen die neuen Rechnungen zunehmend trockenere und wärmere Sommer aus, was schwerwiegende Folgen für die Landwirtschaft bedeutet. Die Winter hingegen werden wärmer und feuchter. Und Extremereignisse wie Starkniederschläge mit Hochwasser werden sich unter der erwärmten Atmosphäre häufen. „Das wesentliche Ergebnis der Zukunftsszenarien ist die fortschreitende Erhöhung der globalen Mitteltemperatur und, damit verbunden, die Verschiebung von Klimazonen“, urteilt Erich Roeckner, Projektleiter der Hamburger Modellrechnungen. „Künftig wird die Forstwirtschaft in fast allen Teilen der Erde andere als die bislang üblichen Baumarten bewirtschaften müssen.“

Das aktuelle Klimamodell des Max-Planck-Instituts für Meteorologie berücksichtigt neben dem komplexen Zusammenspiel zwischen Atmosphäre und Ozeanen auch neue Erkenntnisse über die Auswirkungen von Aerosolen und den Einfluss des Kohlenstoffkreislaufs der Erde. Die Ergebnisse bestätigen die Vermutungen der vergangenen Jahre: dass der Mensch einen großen und bislang nie da gewesenen Einfluss auf das Klimageschehen ausübt und die globale Erwärmung ungemindert fortschreitet.

Um die neuen Modellrechnungen zu prüfen, simulierten die Forscher damit zunächst das Klima der vergangenen Jahrhunderte und verglichen die Ergebnisse mit dem realen Klimageschehen. „Auf diese Weise konnten wir die theoretischen Modelle sehr gut der Wirklichkeit anpassen“, sagt Jochem Marotzke, Geschäftsführender Direktor am

Max-Planck-Institut für Meteorologie.

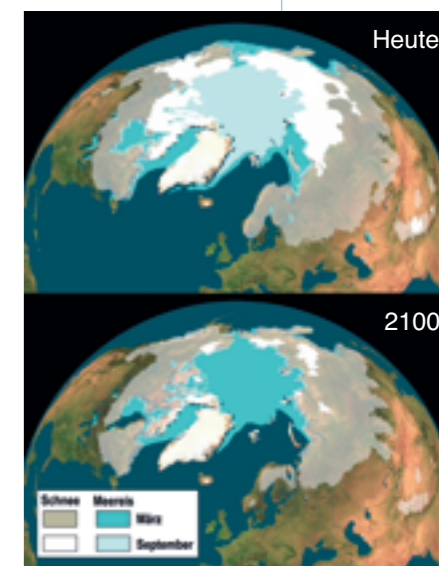
Die Ergebnisse der Hamburger Klimaforscher werden in den nächsten Bericht des Zwischenstaatlichen Ausschusses für Klimaänderungen (Intergovernmental Panel on Climate Change, IPCC) einfließen. Dieses umfassende Statement wird etwa alle fünf Jahre im Auftrag der Weltorganisation

für Meteorologie und des Umweltprogramms der Vereinten Nationen erarbeitet und den Regierungen als unabhängige Information zur Verfügung gestellt. Insgesamt arbeiten an dem 2007 erscheinenden vierten Sachstandsbericht – kurz IPCC-Report genannt – weltweit an die 1000 Wissenschaftler, die dafür jeweils von ihren Regierungen beauftragt wurden.

„Das Max-Planck-Institut für Meteorologie beteiligt sich an der Berechnung der IPCC-Szenarien mit einem gekoppelten Atmosphäre-Ozean-Modell, das als eines der weltweit besten Klimamodelle gilt“, erläutert Guy Brasseur, Direktor am Hamburger Max-Planck-Institut und einer der 15 koordinierenden Hauptautoren des IPCC-Berichts. „Als Wissenschaftler wollen wir den Politikern mit dem Bericht eine möglichst verständliche Entscheidungsvorlage an die Hand geben, auf deren Grundlage sie bestimmen können, welche Maßnahmen nun politisch am dringlichsten umgesetzt werden sollten.“

Im Rahmen des internationalen Workshops „Klimazukunftsszenarien und ihre Verwendung für Impaktstudien“ präsentierten die Wissenschaftler des Max-Planck-Instituts für Meteorologie Ende September 2005 ihre aktuellen Modellrechnungen und diskutierten sie mit Kollegen und Anwendern aus dem In- und Ausland. Die Daten und Ergebnisse wurden insbesondere auch Forschergruppen zur Verfügung gestellt, die sich mit den Folgen globaler Klimaänderungen befassen – mit deren regionalen Auswirkungen auf Land- und Meeresökosysteme, auf Hydrologie und Luftqualität sowie ihren sozio-ökonomischen Folgen.

An diesem Forschungsprojekt ist das Max-Planck-Institut in Hamburg als eine der weltweit führenden Klimaforschungseinrichtungen seit zwei Jahren mit rund 50 Wissenschaftlern und einem finanziellen Aufwand von knapp zehn Millionen Euro beteiligt.



Wo heute in der Arktis noch im September große Flächen von Meereis und Schnee bedeckt sind (oberes Bild), zeigen neue Modellrechnungen im Jahr 2100 eine dramatisch veränderte Situation: Meereis und Schnee schmelzen über den Sommer hinweg bis auf Reste zusammen.

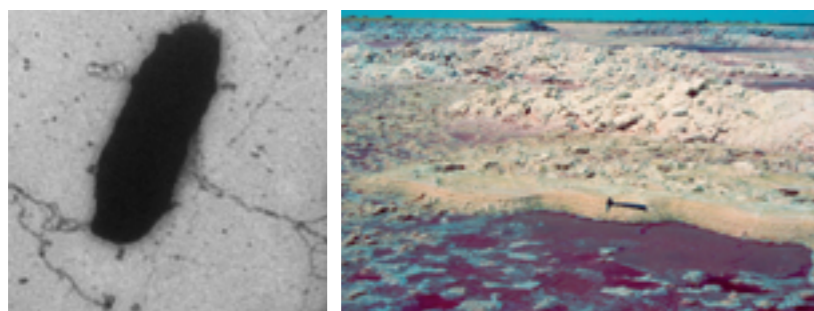


📧 Weitere Informationen erhalten Sie von: DR. ANNETTE KIRK (Pressestelle) Max-Planck-Institut für Meteorologie, Hamburg Tel.: + 49 40 41173-374 Fax: + 49 40 41173-357 E-Mail: annette.kirk@dkrz.de

BIOCHEMIE

Trickreiche Überlebenskünstler

Sie sind wahre Überlebenskünstler und gehören zu den ersten Lebewesen auf dem blauen Planeten: Archaeen, winzige Einzeller, können selbst unter extremsten Umweltbedingungen wie hoher Salzkonzentration, hohem pH-Wert oder hohen Temperaturen noch überleben. Jetzt haben Wissenschaftler der Abteilung Membranbiochemie des Max-Planck-Instituts für Biochemie in Martinsried die Überlebensstrategie aufgedeckt, mit der das Archaeon *Natronomonas pharaonis* auch unter tödlichen Umweltbedingungen noch gedeihen kann. Dazu entschlüsselten sie das Genom des Einzellers und belegten theoretische Ergebnisse durch weiterführende Experimente. (GENOME RESEARCH, Oktober 2005)



Elektronenmikroskopische Aufnahme des Einzellers *Natronomonas pharaonis* (links), der in lebensfeindlichen Salztümpeln wächst. Das rechte Bild zeigt Lake Zog im Wadi Natrun in der Sahara, wo der Organismus gefunden wurde.

membran verankert, wie Michaela Falb durch bioinformatische Analysen herausgefunden hat. In der Zellmembran sind auch wichtige Funktionen des Energiestoffwechsels, etwa die Atmungskette, eingebettet. Dort wird Wasserstoff mit Sauerstoff zu Wasser veratmet und die frei werdende Energie zunächst in Form elektrischer Spannung gespeichert. Da bioinformatische Analysen nur eine unvollständige Atmungskette nachweisen konnten, wurde deren Funktion von Jörg Tittor durch Experimente mit *Natronomonas*-Kulturen bewiesen. „Wir konnten zudem zeigen, dass *Natronomonas pharaonis* Protonen zum Aufbau der elektrischen Spannung benutzt, obwohl dieses wegen der alkalischen Umweltbedingungen ungewöhnlich ist“, sagt Michaela Falb. Damit haben die Wissen-

schaffler die bisherige Annahme widerlegt, dass Organismen unter alkalischen Bedingungen auf andere Ionen wie Natrium ausweichen müssen. *Natronomonas pharaonis* muss aber noch weitere Schwierigkeiten lösen: Denn ein hoher pH-Wert führt zur Verarmung an Ammonium im Wasser. Die Stickstoffverbindung Ammonium ist aber ein wesentlicher Baustein für lebenswichtige Aminosäuren. Der Winzling müsste eigentlich bei der Synthese der Proteinbausteine Probleme haben. Doch auch diese Widrigkeiten hat das Bakterium in den Griff bekommen: Michaela Falb entdeckte in seinem Genom mehrere Wege zur optimalen Ausnutzung des Stickstoffvorkommens, indem es Stickstoff in Form von Nitrat und Harnstoff aufnimmt und in seinen Stoffwechsel einbindet.

„Unsere Untersuchungen der salzliebenden Archaeen haben gezeigt, dass diese Organismen eine hohe Anpassungsfähigkeit besitzen, mit der sie sich an die variablen extremen Umweltbedingungen anpassen können“, erklärt Dieter Oesterhelt. „Die Genügsamkeit von *Natronomonas pharaonis* eröffnet neue Möglichkeiten für die experimentelle Untersuchung seines Stoffwechselnetzwerks.“ Mit Mathematikern wollen die Martinsrieder Biochemiker nun in systembiologischen Studien Stoffwechselmodelle entwickeln und überprüfen.

„Zudem muss die Zellmembran, die in direktem Kontakt mit den lebensfeindlichen Bedingungen steht, besonders gut an ihre Umwelt angepasst sein. Besonders viele Proteine sind mit einem Lipidmolekül verknüpft und dadurch in der Zell-

schicht verankert, wie Michaela Falb durch bioinformatische Analysen herausgefunden hat. In der Zellmembran sind auch wichtige Funktionen des Energiestoffwechsels, etwa die Atmungskette, eingebettet. Dort wird Wasserstoff mit Sauerstoff zu Wasser veratmet und die frei werdende Energie zunächst in Form elektrischer Spannung gespeichert. Da bioinformatische Analysen nur eine unvollständige Atmungskette nachweisen konnten, wurde deren Funktion von Jörg Tittor durch Experimente mit *Natronomonas*-Kulturen bewiesen. „Wir konnten zudem zeigen, dass *Natronomonas pharaonis* Protonen zum Aufbau der elektrischen Spannung benutzt, obwohl dieses wegen der alkalischen Umweltbedingungen ungewöhnlich ist“, sagt Michaela Falb. Damit haben die Wissen-

schaffler die bisherige Annahme widerlegt, dass Organismen unter alkalischen Bedingungen auf andere Ionen wie Natrium ausweichen müssen. *Natronomonas pharaonis* muss aber noch weitere Schwierigkeiten lösen: Denn ein hoher pH-Wert führt zur Verarmung an Ammonium im Wasser. Die Stickstoffverbindung Ammonium ist aber ein wesentlicher Baustein für lebenswichtige Aminosäuren. Der Winzling müsste eigentlich bei der Synthese der Proteinbausteine Probleme haben. Doch auch diese Widrigkeiten hat das Bakterium in den Griff bekommen: Michaela Falb entdeckte in seinem Genom mehrere Wege zur optimalen Ausnutzung des Stickstoffvorkommens, indem es Stickstoff in Form von Nitrat und Harnstoff aufnimmt und in seinen Stoffwechsel einbindet.

„Unsere Untersuchungen der salzliebenden Archaeen haben gezeigt, dass diese Organismen eine hohe Anpassungsfähigkeit besitzen, mit der sie sich an die variablen extremen Umweltbedingungen anpassen können“, erklärt Dieter Oesterhelt. „Die Genügsamkeit von *Natronomonas pharaonis* eröffnet neue Möglichkeiten für die experimentelle Untersuchung seines Stoffwechselnetzwerks.“ Mit Mathematikern wollen die Martinsrieder Biochemiker nun in systembiologischen Studien Stoffwechselmodelle entwickeln und überprüfen.



• Weitere Informationen erhalten Sie von: EVA-MARIA DIEHL (Pressestelle) Max-Planck-Institut für Biochemie, Martinsried Tel.: + 49 89 8578-2824 Fax : + 49 89 8578-2943 E-Mail: diehl@biochem.mpg.de

Panorama

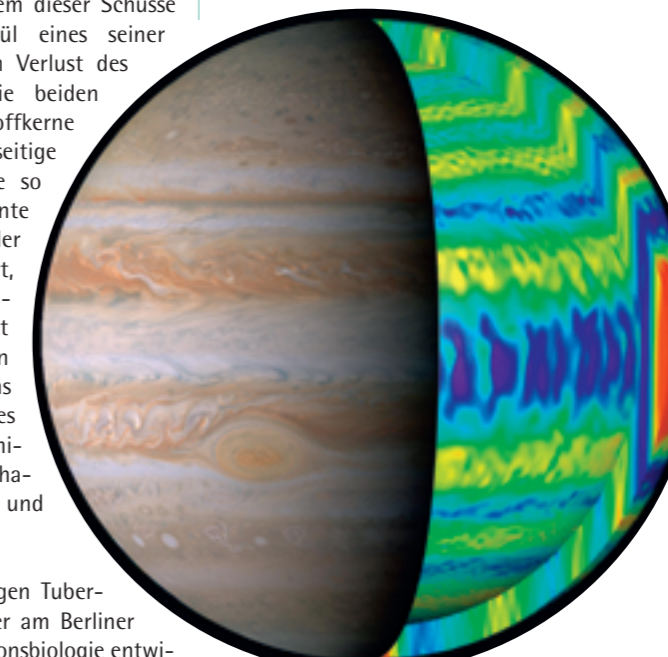
WENN PFLANZEN FRÖSTELN, schalten sie genetisch auf Winterbetrieb um: In gemäßigten und kalten Klimazonen geschieht diese Umstellung und Akklimatisation im Herbst, sobald sich die Temperaturen dem Gefrierpunkt nähern. Am Max-Planck-Institut für molekulare Pflanzenphysiologie in Potsdam wurde jetzt erstmals an *Arabidopsis thaliana*, der Ackerschmalwand, die Aktivität sämtlicher Gene vor und nach einer Kühlphase von 14 Tagen unter vier Grad Celsius verglichen. Wie sich zeigte, änderte sich während dieser „Kaltzeit“ das Aktivitätsmuster von rund 2000, entsprechend etwa zehn Prozent, der Gene dieser Pflanze. Auf der Grundlage dieser Befunde sollen nun die physiologischen Mechanismen aufgedeckt werden, über die Pflanzen ihre Frosttoleranz erhöhen – nicht zuletzt auch im Hinblick darauf, Nutzpflanzen durch gezielte Züchtung besser gegen frühe Frosteinbrüche oder extreme Kälteperioden zu wappnen.

25 MILLIONSTEL einer milliardstel Sekunde dauern die Laserpulse, mit denen Forscher des Heidelberger Max-Planck-Instituts für Kernphysik einzelne Wasserstoffmoleküle unter Beschuss genommen und dadurch in ihre Bestandteile zerlegt haben. Je zwei solcher ultrakurzen Laserpulse wurden dabei kurz hintereinander auf das Molekül abgefeuert – und bei jedem dieser Schüsse verlor das Wasserstoffmolekül eines seiner beiden Elektronen: Nach dem Verlust des zweiten Elektrons flogen die beiden positiv geladenen Wasserstoffkerne (Protonen) durch ihre gegenseitige Abstoßung auseinander. Diese so genannte Dissoziation konnte durch die zeitliche Folge der beiden Laserpulse manipuliert, über quantenmechanisch unterschiedliche Wege geführt und mittels eines speziellen spektroskopischen Verfahrens verfolgt werden: Damit ist es erstmals gelungen, eine chemische Reaktion auf quantenmechanischer Ebene zu beeinflussen und in ihrer Dynamik zu erfassen.

VERBESSERTEN SCHUTZ gegen Tuberkulose bietet ein Impfstoff, der am Berliner Max-Planck-Institut für Infektionsbiologie entwickelt wurde. Gewonnen wurde diese Vakzine durch gezielte Modifikationen des klassischen BCG-Impfstoffs – der nur Kinder, nicht aber Erwachsene vor der Lungentuberkulose schützt. Der veränderte Impfstamm aktiviert auch solche Zellen des Immunsystems, die auf die herkömmliche BCG-Impfung nicht ansprechen und hat sich in präklinischen Studien sogar gegen die gefährlichen Beijing-Stämme des Tuberkulose-Erregers

bewährt. Diese sehr aggressiven und vielfach resistenten Keime treten seit einigen Jahren immer häufiger auf – und verschärfen noch die Bedrohung durch Tuberkulose, an der weltweit nach wie vor mehr Erwachsene sterben als durch jede andere Infektionskrankheit.

AUF JUPITER STÜRMT ES GEWALTIG: Schon bescheidene Amateurteleskope zeigen die Windgürtel als charakteristische, unterschiedlich gefärbte Bänder in der äußeren Atmosphäre dieses Riesenplaneten. Wissenschaftler des Max-Planck-Instituts für Sonnensystemforschung in Katlenburg-Lindau haben jetzt gemeinsam mit kanadischen und amerikanischen Kollegen ein dreidimensionales Computermodell entwickelt, das die Ursachen und die Dynamik dieser „windigen“ Verhältnisse auf Jupiter beschreibt. Demnach reichen die Strömungen – die am Äquator mit Geschwindigkeiten von mehr als 600 Kilometern pro Sekunde umlaufen – bis zu 7000 Kilometer tief in die Atmosphäre des Gasplaneten, die im Wesentlichen aus Wasserstoff und Helium besteht. Anders als auf der Erde stößt die Gashülle auf Jupiter nicht an eine feste Grenzschicht, sondern geht, bedingt durch den mit der Tiefe wachsenden Druck, in einen flüssig-metallischen und elektrisch leitfähigen Zustand über: Konvektionsprozesse und



Einer Christbaumkugel gleicht der Riesenplanet Jupiter auf dem Foto der Raumsonde Cassini (linke Hälfte); die Streifen sind farbige Ammoniakwolken, die ein System aus starken westwärts und ostwärts gerichteten Winden widerspiegeln. Rechts ein Ausschnitt aus der Computersimulation mit farbcodierten Windgeschwindigkeiten (rot: ostwärts, blau: westwärts); die Winde durchziehen die gesamte äußere Gashülle, weiter innen werden sie durch das Magnetfeld abgebremst.

Wirbelströme, erzeugt durch das starke Magnetfeld des rotierenden Planeten, wirken aus dieser flüssigen Schale nach oben und erzeugen abhängig vom Abstand zum Äquator die unterschiedlich breiten, unterschiedlich schnell und zudem abwechselnd in entgegengesetzte Richtungen umlaufenden Strömungsgürtel in der darüber liegenden Gashülle.



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