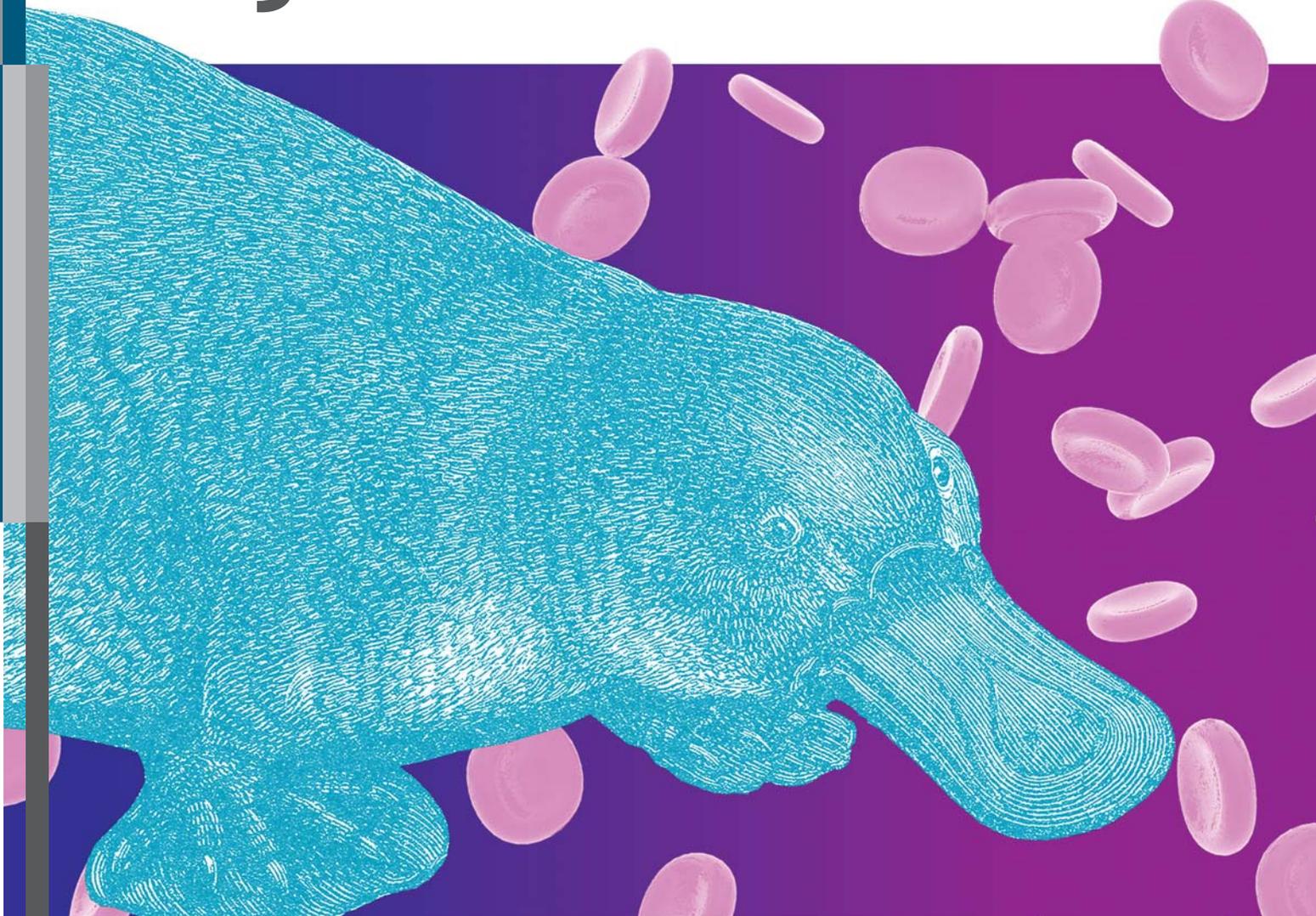


FORSCHEN in Jülich



:: DAS GEHEIMNIS DES SCHNABELTIERS

Warum gibt es verschiedene Arten von Hämoglobin?

.....

:: Protonen in der Turboschicht

.....

:: Wenn der Mittwoch immer rot ist



:: BLICK INS DETAIL

Wie viel Kohlendioxid binden Pflanzen? Und wie viel setzen sie durch Fotosynthese um? Die Mitarbeiterin des Instituts für Bio- und Geowissenschaften (IBG-2) misst mit einem Spektrometer, wie viel Sonnenstrahlung die grünen Pflanzen reflektieren und wie viel Fluoreszenz-Strahlung sie aussenden. Daraus lässt sich die Fotosyntheseaktivität berechnen und somit erfassen, wie verschiedene, insbesondere landwirtschaftlich genutzte Pflanzen auf extreme Umweltbedingungen und Stress reagieren. Die Messungen am Boden werden ergänzt durch Flugkampagnen und sind Vorbereitungen für einen möglichen Einsatz der Messmethode bei Satellitenmissionen.



6



12



16

INHALT

:: NACHRICHTEN 4

:: TITELTHEMA 6

6 Blutproben im Neutronenstrahl
Detektivarbeit zwischen kühl und warm.

:: FORSCHUNG IM ZENTRUM 12

12 Die Kraft der Kristalle
Reißfeste Plastiktüten dank Aluminium und Eisen.

14 Die Achillesferse der Tuberkulose-Erreger
Neue Angriffspunkte für neue Wirkstoffe.

15 Protonen in der Turboschicht
Zielsichere Wanderung auf unbekannter Grenzschicht.

16 Spieglein, Spieglein – und die Wand
Jülicher Know-how im Test für das Fusionskraftwerk ITER.

18 Außergewöhnliche Gabe dank starker Netzwerke
Wenn der Mittwoch immer rot ist.

:: NACHWUCHS 20

20 Watsons Nachfolger im Blick
Magnetische Moleküle für die übernächste Computergeneration.

:: SCHLUSSPUNKT 22

22 Elektronische Schätze
Kristalle mit inneren Werten.

23 Impressum

Jetzt auch als
Tablet-Magazin!
www.fz-juelich.de/app



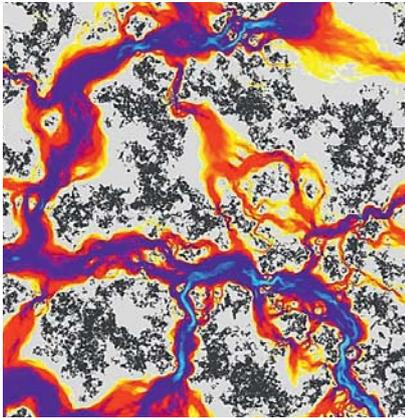
Oder direkt mit
dem Tablet QR-
Code scannen:



iOS (iPad)



Android



Simulation der Kontaktstellen von Dichtung und Anschlussstück. Durch die Lücken zwischen den beiden Oberflächen kann Flüssigkeit ausströmen.

Erkenntnis über tropfende Dichtungen

.....

Gummiringe und andere Dichtungen schließen theoretisch dichter ab als bisher gedacht. Das ergaben Simulationen auf Jülicher Superrechnern. Sobald sich die Oberfläche von Dichtung und Anschlussstück zu mehr als 42 Prozent direkt berühren, tritt keine Flüssigkeit mehr aus. Bisherige Theorien besagten, dass 50 Prozent Berührungsfläche nötig seien.

In den aktuellen Simulationen hatten die Forscher erstmals die Kontaktfläche präziser ermittelt, indem sie die Elastizität des Dichtungsmaterials miteinbezogen. Dabei zeigte sich: Mikroskopisch kleine Erhöhungen der Oberfläche, die in das weiche Gummi gepresst werden, berühren die Dichtung nicht vollständig, sondern lassen weitere kleine Lücken entstehen. Diese Lücken verringern die Berührungsfläche, beeinträchtigen aber nicht die Dichtigkeit.

Mit ihrer Arbeit tragen die Wissenschaftler des Forschungszentrums Jülich und der Universität des Saarlandes dazu bei, besser zu verstehen, was passiert, wenn eine Dichtung leckt. Außerdem könnten sie dazu beitragen, die Durchlässigkeit von alternen Dichtungen besser einzuschätzen. ::

Mit HALO in die Atmosphäre

Das Forschungsflugzeug HALO (High Altitude and Long Range Research Aircraft, Bild) hat seinen Dienst aufgenommen. An seiner ersten Mission sind auch Jülicher Wissenschaftler beteiligt. Sechs Flüge finden seit Ende August im Rahmen von TACTS (Transport and Composition in the Upper Troposphere/Lowermost Stratosphere) zwischen Deutschland und den Kapverden statt. Dabei messen Forscher das Vorkommen und die Verteilung wichtiger Treibhausgase wie Ozon, Kohlenstoffdioxid und Wasserdampf, insbesondere im Grenzbereich zwischen der untersten Schicht der Erdatmosphäre (Troposphäre) und der darüberliegenden Stratosphäre (englisch UTLS). Die neuen Erkenntnisse sollen Chemie-Klima-Modelle optimieren. Jülicher Atmosphärenforscher haben drei Messinstrumente an Bord des Forschungsflugzeugs, die unter anderem Wasserdampf aufspüren und Informationen zur Wolkenzusam-

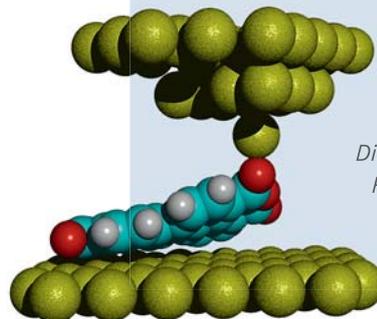


menetzung liefern. Koordiniert wird TACTS von Wissenschaftlern der Frankfurter Goethe-Universität.

HALO ist eine Gemeinschaftsinitiative deutscher Umwelt- und Klimaforschungseinrichtungen und als Forschungsplattform weltweit einzigartig: Es kann bis in Höhen von 15,5 Kilometern fliegen und bis zu zehn Stunden in der Luft bleiben. So erreicht es alle Regionen der Erdatmosphäre – von den Polen bis zu den Tropen. Am 20. August stellte Bundesforschungsministerin Annette Schavan das Flugzeug offiziell in den Dienst. ::

Kraftmesser für molekulare Bindungen

Wie stark Superkleber oder Haftmagnete zusammenhalten, lässt sich durch mechanische Belastungstests recht präzise bestimmen. Auf mikroskopischer Ebene ließ sich jedoch bisher nicht direkt messen, wie stark ein einzelnes Molekül an einer Oberfläche haftet. Jülicher Physiker haben nun mit einem Rasterkraftmikroskop die Haftkraft einzelner Moleküle an Oberflächen experimentell erfasst. Gewöhnlich ertastet ein Rasterkraftmikroskop Strukturen mit einer winzigen Messnadel. Für die Messung der Haftkraft spitzten die Forscher diesen Tastkopf auf ein einziges Atom zu. Damit hoben sie ein Molekül auf einer Oberfläche schrittweise an – bis zur vollständigen Ablösung – und bestimmten die dafür erforderliche Kraft. Aus der Kombination dieser experimentellen Daten mit Computersimulationen ergab sich die Stärke der Bindungen und der Beitrag, den verschiedene Haftkräfte daran haben, etwa Van-der-Waals-Kräfte oder eine chemische Bindung. Diese Informationen können helfen, neue theoretische Modelle für die Molekül-Metall-Wechselwirkung zu überprüfen.



Die auf ein einziges Atom zulaufende Spitze des Rasterkraftmikroskops dockt von oben an einem Sauerstoffatom (rot) des untersuchten Moleküls an und hebt es von einer Gold-Oberfläche ab.



Waldbrände aufspüren wie ein Käfer

Mit einem besonderen Sensor sind die Kiefernprachtkäfer der Gattung *Melanophila* ausgestattet: Sie orten Waldbrände aus sehr großer Entfernung, da ihre Larven das frisch verbrannte Holz als Nahrung benötigen. Ihr biologischer Sensor für Wärmestrahlung könnte dabei sogar empfindlicher sein als derzeit auf dem Markt erhältliche Infrarot(IR)-Sensoren, wie Forscher der Universität Bonn zusammen mit Jülicher Wissenschaftlern kalkulierten. Basis für ihre Berechnungen war ein Öldepot-Brand in Kalifornien im Jahr 1925. Das Feuer lockte Kiefernprachtkäfer aus

bis zu 130 Kilometern Entfernung an. Anhand von Simulationen dieser Situation berechneten die Wissenschaftler die mögliche Empfindlichkeit des biologischen IR-Sensors.



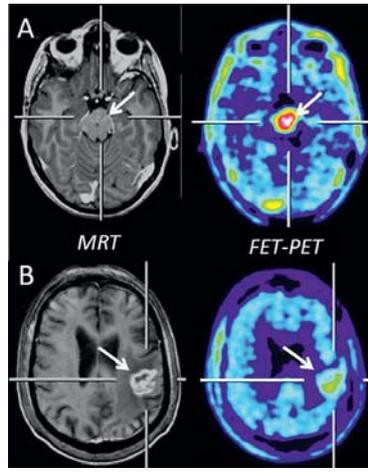
Schwarzer Kiefernprachtkäfer (Melanophila acuminata). Der rote Pfeil zeigt auf das linke Infrarotorgan. Am Grunde dieser kleinen Grube liegt ein Feld von bis zu 90 kugelförmigen IR-Rezeptoren.

Im Visier der Forscher ist der Käfer schon länger. Die Bonner Wissenschaftler arbeiten daran, den empfindlichen Infrarot-Detektor technisch nachzubauen. Das Funktionsprinzip haben sie bereits entschlüsselt: Ein spezielles Sinnesorgan des Käfers enthält winzige flüssigkeitsgefüllte Kügelchen, die IR-Strahlung aufnehmen können. Tun sie das, erwärmen sie sich und dehnen sich aus, was mechanosensitive Sinneszellen als Druckänderung spüren. Nun gilt es, auch die Empfindlichkeit technisch umzusetzen, denn das könnte Waldbrand-Frühwarnsysteme deutlich verbessern. ::

Verbesserte Diagnostik nach Bestrahlung von Hirnmetastasen

Ein neues Verfahren erleichtert die Diagnostik nach der Bestrahlung von Metastasen im Gehirn: Ohne Gewebeprobe unterscheidet es therapiebedingte Veränderungen im Gehirn von einem erneuten Wachstum der Metastasen. Den Patienten wird dazu die schwach radioaktive Aminosäure FET injiziert. Deren Anreicherung im Gehirn lässt sich mittels Positronenemissionstomografie (PET) bestimmen und zeigt bei erneutem Metastasenwachstum ein typisches Anreicherungsmuster, wie eine Patientenstudie von Forschern aus Jülich, Aachen und Köln zeigte. Diese wenig belastende Untersuchungsmethode liefert wertvolle Zusatzinformationen für eine weitere Planung der Therapie, so die Wissenschaftler.

Metastasen im Gehirn sind häufig die Folge von bösartigen Tumoren wie Lungen- oder Mammakarzinomen. Häufig werden sie mit Bestrahlungen therapiert. ::



A) Bei erneutem Metastasenwachstum (weißer Pfeil) ist eine vermehrte FET-Anreicherung (rote Farbe) im PET sichtbar.

B) Bei einer Radionekrose ist nur eine geringe FET-Anreicherung (grün) im PET sichtbar.

Blutproben im Neutronenstrahl

Ob Krokodil, Schnabeltier, Mensch oder Huhn: Immer hat das Hämoglobin in den roten Blutkörperchen die gleiche Aufgabe. Es transportiert Sauerstoff von der Lunge in den gesamten Körper. Auf detektivische Weise hat ein internationales Team um Dr. Andreas Stadler vom Forschungszentrum Jülich detailliert entschlüsselt, wie und warum sich die Hämoglobine dieser Lebewesen trotzdem unterscheiden. Ihre Erkenntnisse sind unter anderem interessant für die Forschung an künstlichem Blut.

Das Schnabeltier bevölkert als Kuriosität schulische Lehrpläne und Quizsendungen: Es legt Eier, ernährt aber seinen Nachwuchs mit Muttermilch. In der freien Natur kommt es nur in Australien vor. Es gilt als „Ursäuger“ oder „lebendes Fossil“, für das sich Evolutionsforscher außerordentlich interessieren. In den Blickpunkt des Jülicher Physikers Andreas Stadler ist das Schnabeltier aber wegen einer anderen Besonderheit gerückt: Seine Körpertemperatur liegt bei lediglich 33 Grad Celsius und somit unter der von nahezu allen anderen Säugetieren – und immerhin fast vier Grad unter der eines gesunden Menschen.

Diese niedrige Körpertemperatur ist letztlich der Grund dafür, warum Stadler und acht weitere Wissenschaftler aus Deutschland, Frankreich und Australien den roten Blutfarbstoff – Hämoglobin – des Schnabeltiers in sehr aufwendigen Experimenten untersucht haben. Daneben erforschten sie das Hämoglobin anderer Blutspender – das von Menschen, Hühnern und Salzwasser-Krokodilen. Auch diese Auswahl hat etwas mit den jeweiligen Körpertemperaturen zu tun: Bei Hühnern ist sie mit 41 Grad besonders hoch,

während sie bei Krokodilen abhängig von der Umgebungstemperatur zwischen 25 und 34 Grad schwankt. Die Wissenschaftler, die an acht verschiedenen Forschungseinrichtungen arbeiten, nutzten für die Untersuchungen neben dem Forschungsreaktor FRM II in Garching die weltweit stärkste Neutronenquelle der Welt am Institut Laue-Langevin (ILL) im französischen Grenoble. Ihre Ergebnisse haben sie vor kurzem im „Journal of the Royal Society Interface“ veröffentlicht.



Lang war nicht nur der Weg der Blutproben von Schnabeltier und Krokodil von Australien nach Europa, sondern auch die Geschichte des Forschungsvorhabens. Sie zeigt beispielhaft, dass Forschung heute international vernetzt im Team stattfindet und modernste Instrumente benötigt. Sie verdeutlicht aber auch, wie verschlungen die Pfade zur wissenschaftlichen Erkenntnis sein können.

FEHLSCHLAG ALS GLÜCKSFALL

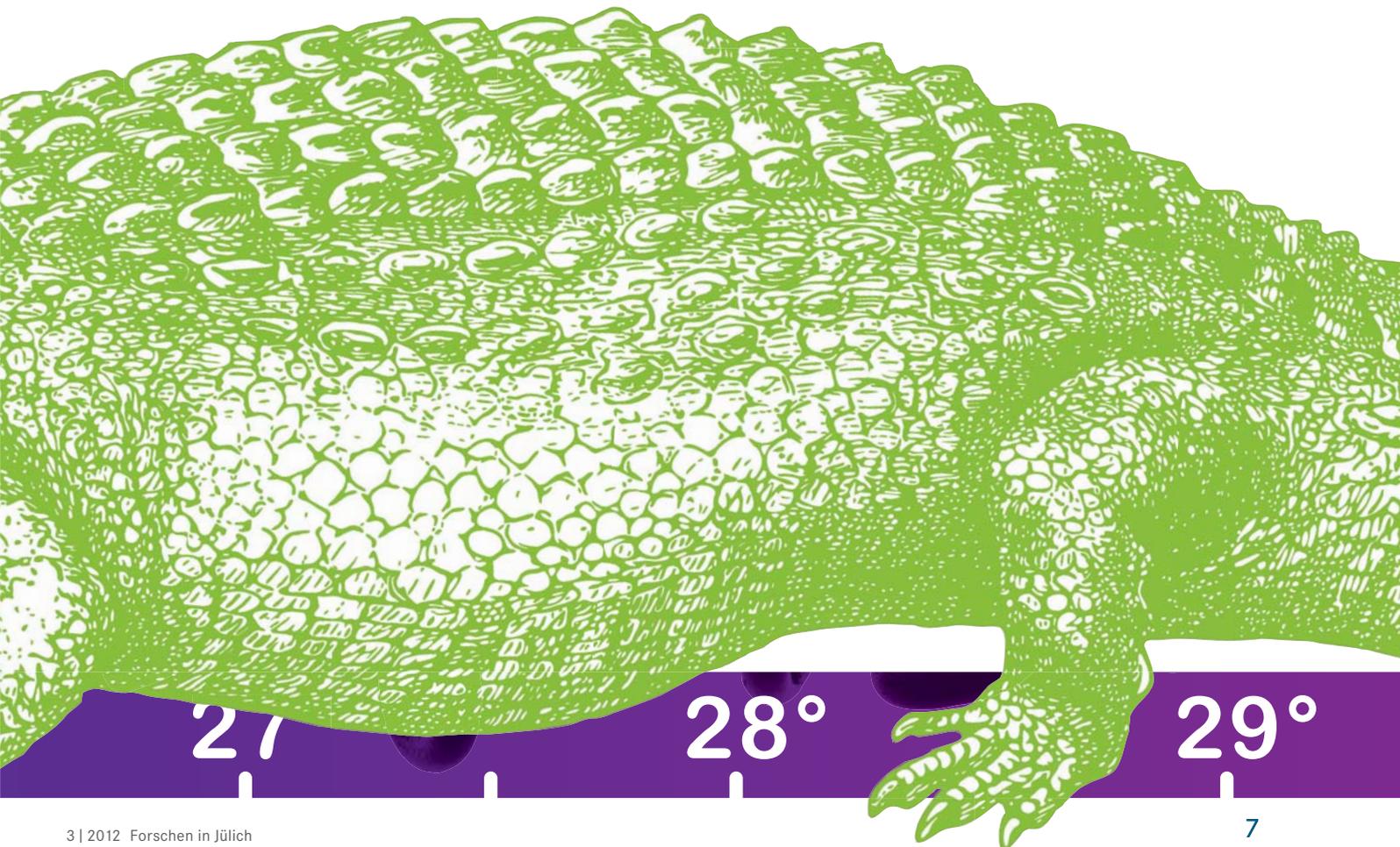
Ausgangspunkt war ein Fehlschlag im Jahre 1994, der sich allerdings im Nachhinein als Glücksfall erwies. „Wir begannen das Experiment nach Mitternacht“, erinnert sich Prof. Gerhard M. Artmann, Biophysik-Professor an der Fachhochschule Aachen. Er hielt sich damals zu einem Forschungsaufenthalt in Kalifornien an der University of San Diego auf. Dort untersuchte er das Verhalten von menschlichen roten Blutkörperchen, wenn sie mit Hilfe einer sogenannten Mikropipette angesaugt werden. Eine Mikropipette ist ein Glasröhrchen, das sich zu einer Seite hin stark verengt – in diesem Fall auf einen Durchmesser von rund einem tausendstel Millimeter.



Andreas Stadler hat mit einem internationalen Team herausgefunden, dass die Flexibilität der Hämoglobine verschiedener Lebewesen von deren Körpertemperatur abhängt.

Wenn ein rotes Blutkörperchen mit einer solchen Mikropipette angesaugt wird, bleibt es in der Spitze üblicherweise stecken. Bläst man anschließend Luft in die Pipette, so kommt das Blutkörper-

chen wieder frei – doch seine Form hat sich geändert: Aus einem runden, in der Mitte leicht eingedellten Scheibchen ist eine Kugel mit stachelförmigen Ausstülpungen geworden. Nach einiger Zeit kehrt das Blutkörperchen dann in seine ursprüngliche Form zurück.



Artmann interessierte sich als Biophysiker dafür, welche Mechanismen und Stoffe im Blutkörperchen für diese Umwandlung verantwortlich sind. In jener Nacht wollte er speziell erkunden, ob die Temperatur beeinflusst, wie schnell das Blutkörperchen wieder in die Scheibchenform zurückfindet. Das wäre ein Hinweis darauf gewesen, dass bestimmte Enzyme an dieser Rückumwandlung beteiligt sind.

Bei 36 Grad verlief das Experiment planmäßig, aber dann wiederholte Artmann es mit dem gleichen Blutkörperchen bei 37 Grad. „Das Blutkörperchen drang in die Pipette ein und – zu unserer großen Überraschung – durchquerte sie mit nur wenigen Sekunden Aufenthalt“, erinnert sich Artmann. Da er seine geplanten Untersuchungen nur mit Blutkörperchen durchführen konnte, die in der schmalen Spitze steckenblieben, versuchte er es weiter. Aber, so Artmann: „Nur zehn von hundert Blutkörperchen verhielten sich so, wie wir es wollten.“ Bei 39 Grad schlüpfen gar alle Zellen ungehindert durch den Engpass.

SELTSAMES PHÄNOMEN

Mit der Geisterstunde hatte der seltsame Effekt nichts zu tun, wie sich in unzähligen späteren Experimenten bestätigte. Artmann: „Wir wussten anfänglich natürlich nicht, dass wir uns mehr als 15 Jahre mit dem Phänomen beschäftigen würden.“

Zunächst galt es einzugrenzen, welcher Teil des Blutkörperchens – die umgrenzende Membran, das Zellgerüst oder das Hämoglobin – für das Phänomen verantwortlich ist. Naheliegende

Vom Nutzen der Neutronen

Neutronenstreuexperimente unterstützen viele Wissenschaftsdisziplinen darin, die Herausforderungen unserer modernen Technologie-Gesellschaft zu bewältigen. So helfen sie,

- neue Batterien, Katalysatoren und Speichermaterialien für die Energietechnik zu entwickeln.
- neue elektronische und magnetische Materialien für die Informationstechnologie der Zukunft hervorzubringen.
- Nano-Bauelemente für Elektronik und Medizin zu entwerfen.
- leistungsfähigere weiche Materialien – beispielsweise Kunststoffe und Reinigungsmittel – herzustellen.
- robustere und verschleißfreiere Metalllegierungen und Keramiken zu entwickeln sowie auftretende Schäden zu erkennen.
- biomedizinische Prozesse besser zu verstehen.

Annahme war, dass die sprunghaft steigende Verformbarkeit der Blutzellen auf strukturellen Umbauten in ihrer Hülle oder ihrem Gerüst beruht. Doch die Forscher der Fachhochschule Aachen konnten 1998 in Zusammenarbeit mit Wissenschaftlern um Prof. Shu Chien von der University of California, San Diego, zeigen: Anders als erwartet ist der Effekt auf das Hämoglobin zurückzuführen. Das sauerstofftransportierende Protein ändert in konzentrierten Lösungen zwischen 36 und 37 Grad seine Fließeigenschaften abrupt.

Das warf zunächst zwei Fragen auf: Lässt sich diese sprunghafte Veränderung der Fließeigenschaften auch beim

Hämoglobin anderer Lebewesen beobachten? Falls ja: Findet sie bei der gleichen Temperatur wie beim Menschen statt? Die Antworten gaben die Forscher erstmals in Fachartikeln von 2004 und 2006: Darin berichteten sie, dass sie beim Hämoglobin des Schnabeltieres die Eigenschaftsveränderung auch gefunden hatten – bei 33 Grad. Das Hämoglobin für ihre Untersuchungen stammte von Exemplaren, die im Zoo von San Diego lebten. 2007 dann zeigten die Forscher mit einer vergleichsweise einfachen Methode, dass bestimmte spiralförmige Bereiche des Hämoglobins nahe der Körpertemperatur des jeweiligen Lebewesens etwas von ihrer starren Ordnung verlieren.

Daraus ergibt sich sofort eine neue Frage. Wie genau „schafft“ es das Hämoglobin der verschiedenen Lebewesen, diesen Mechanismus an die jeweilige Körpertemperatur anzupassen? Die Idee, mit Hilfe der sogenannten Neutronenstreuung neue Einsichten in die verschiedenen Hämoglobin-Arten zu erhalten, hatte der Strukturbiologe und Biophysiker Prof. Georg Büldt vom Forschungszentrum Jülich, der mit Artmann in Kontakt stand. Mithilfe von Neutronen können Wissenschaftler die Anordnung von Atomen in Materialien ermitteln. Sie können aber auch erkunden, wie sich die Atome in den Stoffen bewegen (siehe „Die Methoden der Neutronenforscher“, S. 10).



KROKODIL
25° – 34° C

30°

31°

32°



Das Institut Laue-Langevin in Grenoble ist ein weltweit führendes Zentrum für die Neutronenforschung, mit dem Jülicher Wissenschaftler eng kooperieren.

Neutronen sind elektrisch neutrale Bausteine der Atomkerne und kommen in der Natur nicht frei vor. Somit benötigen die Forscher Neutronenquellen wie den FRM II, den Reaktor am ILL, und die Spaltungsanlage in Oak Ridge, USA. An allen drei Quellen betreibt das Jülich Centre for Neutron Science (JCNS) modernste Instrumente. Schon bevor das JCNS 2006 gegründet wurde, gab es enge Kontakte und Kooperationen zwischen Jülicher Forschern und Wissenschaftlern an den Neutronenquellen. „Meine Doktorarbeit, mit der ich 2006 begann, wurde von Jülich und ILL gemeinsam finanziert und betreut“, berichtet Andreas Stadler. Seine Aufgabe wurde es, am ILL Neutronen-

streuexperimente an Hämoglobin durchzuführen und somit die Idee von Büldt aufzugreifen.

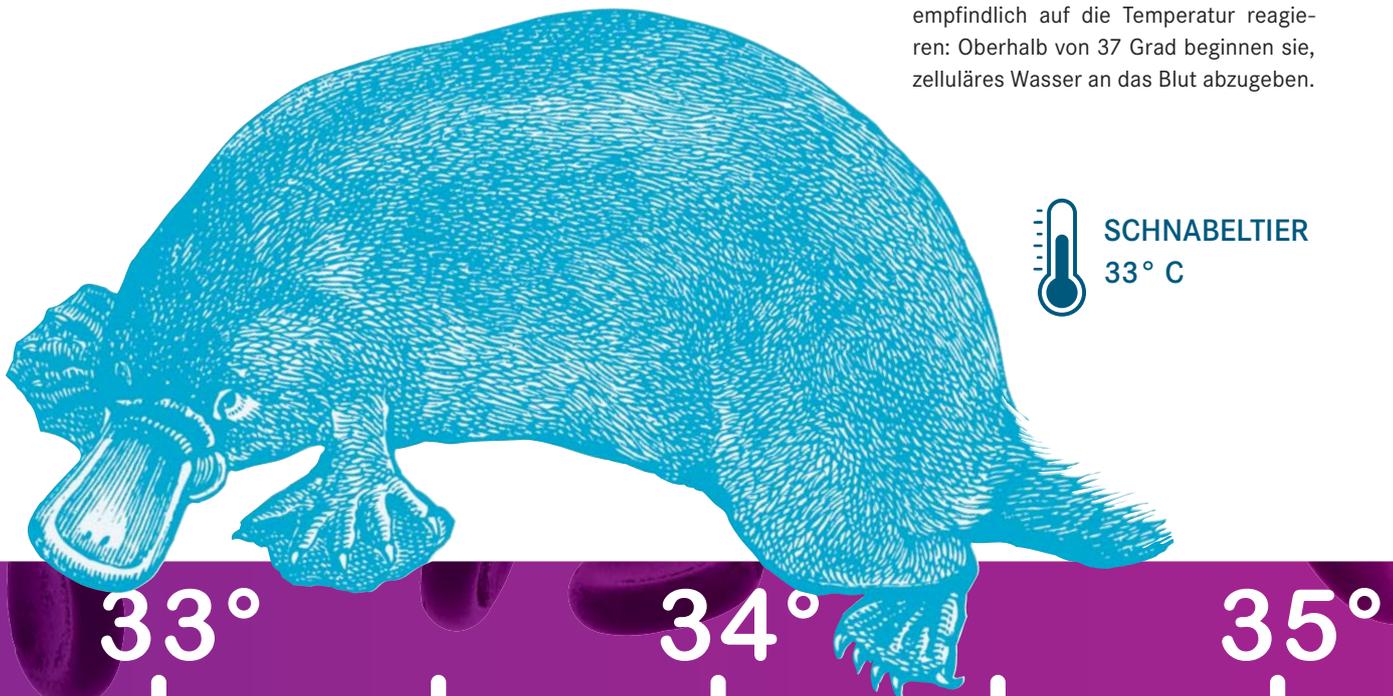
ATOMBEWEGUNGEN BEOBACHTEN

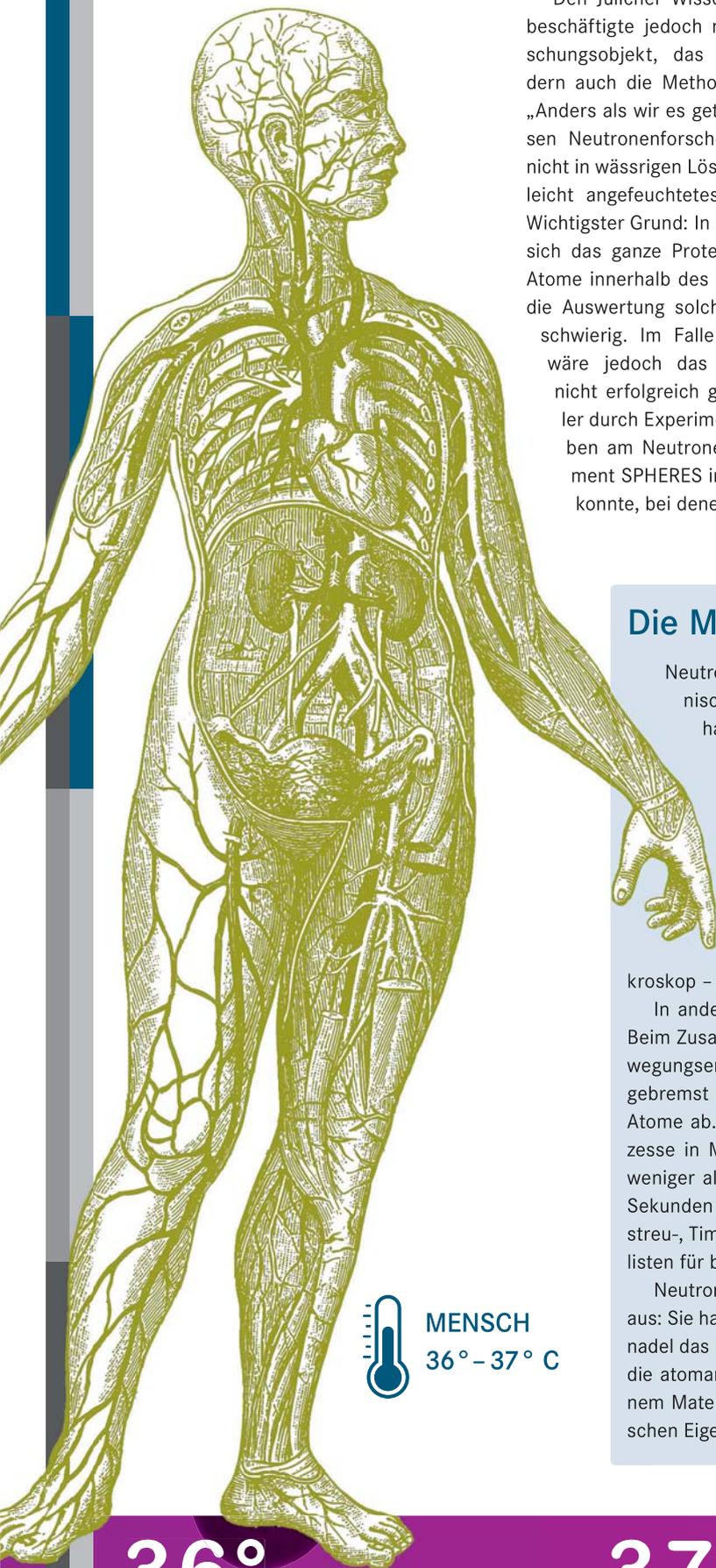
Stadler benutzte ein Neutronen-Rückstreu-Spektrometer, mit dem sich messen lässt, wie sich die Atome in den Hämoglobinen bei verschiedenen Temperaturen bewegen. „Und zwar lassen sich mit dem eingesetzten Instrument, dem IN13, kleinste Bewegungen beobachten, die innerhalb von hundert Billionstel Sekunden ablaufen“, erläutert Stadler. Nun bewegen sich die Atome in den Hämoglobinen nicht frei im Raum,

sondern sind chemisch an andere Atome gebunden. Damit liefern die Messungen der Atombeweglichkeit Informationen darüber, wie die Gesamtheit der Bindungen in den Hämoglobinen auf veränderte Temperaturen reagiert: eher elastisch oder eher steif.

„Während einer wissenschaftlichen Konferenz in Frankreich, bei der ich über meine Doktorarbeit berichtete, traf ich auf Chris Garvey, einen Wissenschaftler aus Australien“, erinnert sich Stadler. Garvey interessierte sich sehr für Stadlers Forschung. Nachdem die beiden Wissenschaftler eine Kooperation vereinbart hatten, kümmerte sich Garvey darum, Blutproben der geschützten Schnabeltiere und von Krokodilen zu bekommen.

Wichtigstes Ergebnis der Messungen: Die Hämoglobine der verschiedenen Lebewesen sind unterschiedlich flexibel. Das Schnabeltier mit seiner niedrigen Körpertemperatur besitzt ein weiches und elastisches Hämoglobin. Das Hämoglobin des „heißblütigen“ Huhnes ist viel steifer. Der Mensch liegt nicht nur bei der Körpertemperatur zwischen diesen Extremen, sondern auch bei der Flexibilität seines Blutfarbstoffes. „Unsere Messungen bestätigen, dass Hämoglobin ein hochsensibles molekulares Thermometer für die Körpertemperatur ist“, so Stadler. Von dieser Forschung unabhängig hat Artmann von der FH Aachen inzwischen gezeigt, dass menschliche rote Blutkörperchen noch auf andere Weise empfindlich auf die Temperatur reagieren: Oberhalb von 37 Grad beginnen sie, zelluläres Wasser an das Blut abzugeben.





MENSCH
36° – 37° C

Den Jülicher Wissenschaftler Stadler beschäftigte jedoch nicht nur sein Forschungsobjekt, das Hämoglobin, sondern auch die Methode zur Erkenntnis. „Anders als wir es getan haben, vermessen Neutronenforscher Proteine häufig nicht in wässrigen Lösungen, sondern als leicht angefeuchtetes Pulver“, sagt er. Wichtigster Grund: In der Lösung bewegt sich das ganze Protein – nicht nur die Atome innerhalb des Proteins. Daher ist die Auswertung solcher Messungen oft schwierig. Im Falle der Hämoglobine wäre jedoch das übliche Vorgehen nicht erfolgreich gewesen, wie Stadler durch Experimente mit Pulverproben am Neutronenrückstreu-Instrument SPHERES in Garching belegen konnte, bei denen er von Dr. Gerald



Das Neutronenrückstreu-Instrument SPHERES in Garching.

Schneider vom JCMS unterstützt wurde. „Scheinbar reicht das Anfeuchten nicht, um das Hämoglobin biologisch voll aktiv werden zu lassen“, folgert Stadler.

Die Methoden der Neutronenforscher

Neutronen gehorchen als Bausteine der Atomkerne quantenmechanischen Gesetzen: Sie können sich als Welle und als Teilchen verhalten. Die Länge der Wellen ist dabei etwa so lang wie die Atomabstände in Kristallen. Die Wellen, die an den Atomen gestreut werden, interferieren miteinander: So wie die Wellen im See, die durch hineingeworfene Steine entstehen, so verstärken sie sich mancherorts und löschen sich mancherorts aus. Es entstehen Muster, die Informationen über die Anordnung der Atome im Kristall enthalten. Nach diesem Prinzip können Neutronenforscher Strukturen analysieren wie in einem extrem hochauflösenden Mikroskop – auch die von Pulvern und Riesenmolekülen.

In anderen Messungen verhalten sich Neutronen eher als Teilchen. Beim Zusammenstoß mit den Atomen nehmen sie wie Billardkugeln Bewegungsenergie auf oder geben sie ab. Wie stark sie beschleunigt oder gebremst werden, hängt unter anderem von der Geschwindigkeit der Atome ab. Daher können die Forscher mit Neutronen dynamische Prozesse in Materialien untersuchen. Weil diese Prozesse manchmal nur weniger als eine billionstel Sekunde, manchmal aber auch hundertstel Sekunden dauern, werden verschiedene Instrumente benötigt: Rückstreu-, Time-of-flight- oder Spin-Echo-Spektrometer sind jeweils Spezialisten für bestimmte Zeit- und Längenskalen.

Neutronen zeichnen sich durch eine weitere nützliche Eigenschaft aus: Sie haben ein magnetisches Moment – den Spin. Wie eine Kompassnadel das Erdmagnetfeld misst, so ist der Neutronenspin empfindlich für die atomare Anordnung der elementaren magnetischen Momente in einem Material. Forscher können daher mit Neutronen auch die magnetischen Eigenschaften von Stoffen erkunden.

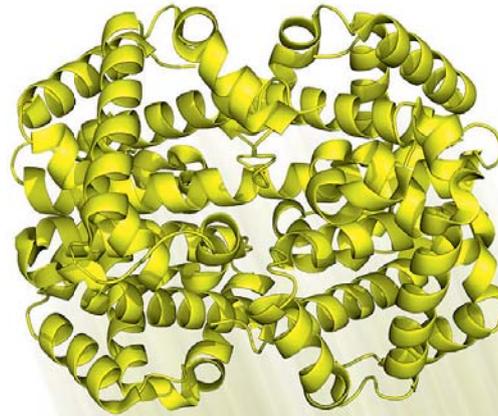
36°

37°

38°

Fast identisch – und doch an die Körpertemperatur angepasst ...

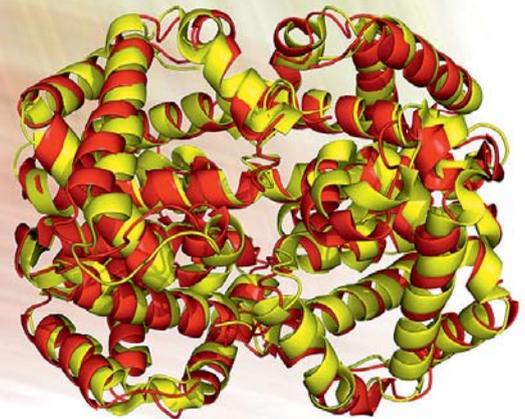
Im Aufbau, den Fachleute Tertiärstruktur nennen, stimmen die Hämoglobine von Huhn und Mensch weitgehend überein. Doch es gibt Unterschiede in den Aminosäuren-Abfolgen, deren Funktion Forscher nun aufgeklärt haben.



... Hämoglobin des Menschen ...



Hämoglobin eines Huhns und ...



... im direkten Vergleich.

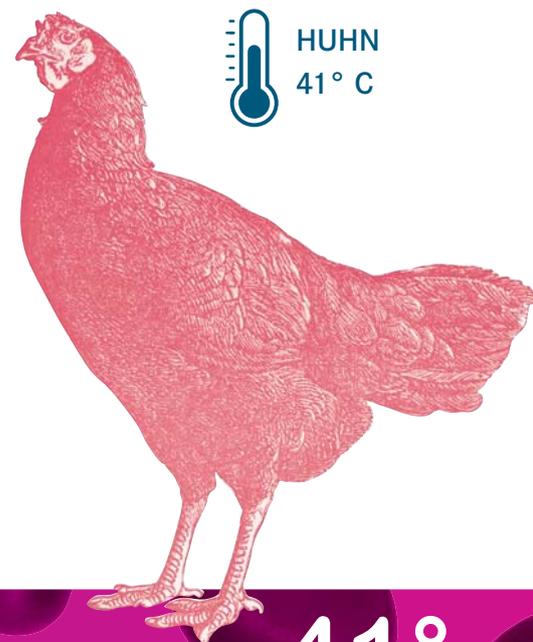
IM COMPUTER SIMULIERT

Offen blieb nach den Neutronenstreuexperimenten zunächst, welcher Teil des Hämoglobins für die evolutionäre Anpassung an die Körpertemperatur verantwortlich ist – immerhin besteht Hämoglobin aus mehr als 550 Aminosäuren mit insgesamt rund 6.000 Atomen. Dass der prinzipielle Bauplan – die Struktur – der Hämoglobine verschiedener Lebewesen übereinstimmt, erschwert eine Antwort auf die Frage.

Daher nahmen die Forscher Kontakt zu Dr. Sophie Sacquin-Mora von der Universität Paris Diderot auf. Garvey kannte diese Spezialistin für Computersimulationen aufgrund einer früheren Zusammenarbeit. Ausgehend von Daten zur Hämoglobin-Struktur und zur Abfolge der Aminosäuren bei Mensch und Huhn zeigten die Berechnungen, welche Aminosäuren die Steifigkeit des gesamten Proteins direkt beeinflussen: Sie befinden

sich zwischen kleinen Löchern des Hämoglobins, Höhlen genannt. Von diesen ist bekannt, dass sie für die Regulierung der Sauerstoffaufnahme wichtig sind. Offensichtlich ist es kein Zufall, dass in dieser Hämoglobin-Region die Abfolge der Aminosäuren bei Mensch und Huhn nicht gleich ist: Evolutionäre Prozesse haben die Sauerstoffaufnahme bei der Körpertemperatur jeder einzelnen Art optimiert und so die Blutkörperchen besonders leistungsfähig gemacht.

Die grundlegenden Erkenntnisse könnten künftig auch praktisch bedeutsam werden. So forschen Wissenschaftler weltweit an künstlichem Blut, das Blutkonserven etwa für Unfallverletzte ersetzen kann. Die sauerstofftransportierenden Stoffe in diesem Ersatzblut müssten auch engste Blutgefäße passieren können: Da hilft es, wenn genau bekannt ist, wie die Natur diese Aufgabe meistert. ::



49°

40°

41°

Die Kraft der Kristalle

Was haben Kristalle mit Plastiktüten zu tun? Sehr viel sogar: Ein in Jülich entwickelter Kristall aus Eisen und Aluminium könnte in Zukunft bei der Herstellung des Kunststoffes Polyethylen helfen – dem Grundstoff für Tüten und Co.

Das etwa drei Zentimeter große Exemplar sieht nicht anders aus als ein gewöhnliches Stück Metall: dunkelgrau, hart, glatt und glänzend. Aber chemisch gesehen ist das Material etwas Besonderes, erklärt Dr. Michael Feuerbacher vom Peter Grünberg Institut: „Die Struktur ist hochkomplex und die Eisen- und Aluminiumatome sitzen alle auf genau definierten Plätzen.“ Daher sprechen Fachleute von einer komplexen Legierung. Gewöhnliche Metalllegierungen haben hingegen einen sehr einfachen Aufbau.

„Die Eigenschaften eines Materials hängen eng mit seiner Struktur zusammen“, erläutert Mitarbeiter Dr. Marc Heggen. „Derartig komplexe Materialien müssen einfach auch interessante Eigenschaften haben.“ Dass dem tatsächlich so ist, hat sich gerade wieder gezeigt: Der besagte Aluminium-Eisen-Kristall der Jülicher eignet sich hervorragend als Katalysator, sprich als Hilfsstoff für eine in der Industrie extrem bedeutende Reaktion.

CLOU FÜR REISSFESTE PLASTIKTÜTEN

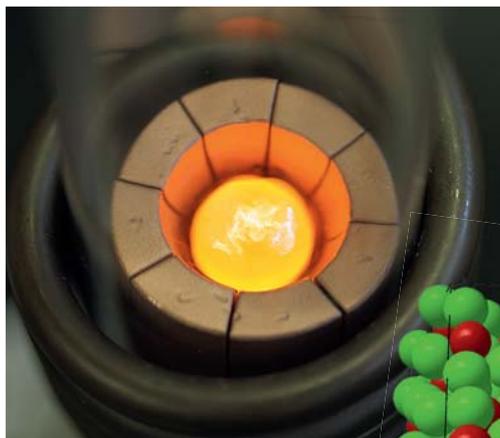
Bei der Reaktion geht es darum, Ethin, auch Acetylen genannt, in Ethen (Ethylen) umzuwandeln. Die beiden Verbindungen sind einander sehr ähnlich. Doch während unzählige aneinandergereihte Ethen-Moleküle den reißfesten Tüten-Kunststoff Polyethylen ergeben, entsteht in Anwesenheit von Ethin ein Kunststoff, der bereits bei der geringsten Beanspruchung reißt. Industriell eingesetztes Ethen enthält aber immer auch geringe Mengen Ethin. Bevor es an die Herstellung des Kunststoffes geht, muss es daher zu Ethen umgewandelt werden.

Als Katalysator dieses Prozesses setzt die Industrie derzeit das seltene und damit sehr teure Edelmetall Palladium ein. Zusammen mit Kollegen vom Max-Planck-Institut für Chemische Physik fester Stoffe in Dresden und der Ludwig-Maximilians-Universität München testeten die Jülicher Forscher als Alternative die vielversprechende Eisen-Aluminium-Verbindung. Aluminium und Eisen sind auf der Erde im Überfluss vorhanden und daher viel günstiger als Palladium.

Groß war die Freude, als sich im Labor zeigte, dass die neue Verbindung bei der Reaktion ähnlich gut abschnitt. „Und das beim allerersten Versuch“, betont Feuerbacher. Der altbewährte Palladium-Katalysator hat in den letzten Jahrzehnten unzählige Optimierungsschleifen durchlaufen. Dagegen ist der Aluminium-Eisen-Kristall noch wie ein ungeschliffener Rohdiamant. Mit ein wenig Entwicklungsarbeit wird er vermutlich genauso gut oder sogar besser werden als Palladium. „Das ist schon fast wie der alte Alchemistentraum“, sagt Feuerbacher: „Gold zu machen aus etwas weniger Wertvollem.“

DIE STRUKTUR MACHT'S

Der Trumpf des Kristalls ist die Art, wie die Aluminium- und Eisenatome in ihm angeordnet sind. Die Umwandlung von Ethin zu Ethen findet ausschließlich an den Eisenatomen statt. Damit das klappt, müssen sie aber einen bestimmten Abstand zueinander haben. Liegen zwei Eisenatome zu nah beieinander, schießt die Reaktion übers Ziel hinaus: Das entstehende Ethen wird noch weiter umgewandelt zum Ethan, das keine Kunststoffketten bilden kann. Sind die Eisenatome aber zu weit auseinander, läuft gar keine Reaktion mehr ab.



Der Aluminium-Eisen-Kristall mit der komplexen Struktur lässt sich aus einer glühenden Schmelze der beiden Metalle gewinnen.

Im Kristall werden die Eisenatome von Aluminiumatomen, die dazwischen sitzen, auseinandergedrängt. Sie liegen dadurch nie direkt nebeneinander und haben immer einen genau definierten Abstand voneinander.

GEBURT AUS DER SCHMELZE

Die Herstellung solcher komplexen Legierungen ist schon eine Kunst für sich. „Es reicht nicht aus, die beiden Metalle im richtigen Verhältnis zusammenbringen, zu schmelzen und wieder erstarren zu lassen“, erklärt Heggen. „Die Schmelze hat eine völlig andere Zusammensetzung als das fertige Material. Der Kristall wird langsam und vorsichtig bei genau definierter Temperatur aus der glühenden Schmelze herausgezogen – ein beeindruckendes Bild!“

Als die Forscher die erfolgsgekrönte Aluminium-Eisen-Verbindung erstmals herstellten und untersuchten, hatten sie zunächst ganz andere Eigenschaften im Sinn. „Wir waren an den mechanischen Eigenschaften dieser Legierung interessiert, an Katalyse dachte zunächst niemand“, erklärt Heggen.

Über 200 Kristalle komplexer Legierungen hat das Team bereits gezüchtet und untersucht. Feuerbacher ist davon überzeugt, dass sich darunter noch viele andere Materialien mit ähnlich faszinierenden Eigenschaften finden werden. So eignen sich einige Kristalle aufgrund ihrer hohen Härte, aber geringen Reibung für Beschichtungen. Andere wiederum könnten als Wasserstoffspeicher dienen. Und wieder andere könnten genau wie die Aluminium-Eisen-Verbindung bedeutende Reaktionen ankurbeln. „Das war definitiv kein Einzelfall“, ist Feuerbacher überzeugt. ::

Michael Feuerbachers und Marc Heggens Kristalle helfen, reißfeste Plastiktüten herzustellen.

Chemisches Multitalent

Ethen ist einer der wichtigsten Rohstoffe der chemischen Industrie. Der gasförmige Stoff wird aus Erdöl hergestellt und zu etlichen Grundchemikalien wie Ethanol, Anthracen und Chlorethanol weiterverarbeitet, die wiederum für die Herstellung von Medikamenten, Farbstoffen, Pestiziden, Klebstoffen, Lacken und vielem mehr dienen. Etwa drei Viertel des Ethens geht in die Produktion von Kunststoffen wie Polyvinylchlorid (PVC) und vor allem Polyethylen (PE). Aus Letzterem bestehen nicht nur Plastiktüten, sondern auch Folien, Gefrierbeutel, Eimer, Wäschekörbe, Rohre und Kabelisierungen. Eine spezielle Polyethylen-Variante wird sogar für High-tech-Produkte wie Implantate verwendet.





TBC-Kranke in Davos – Liegekuren in den Schweizer Bergen galten vor der Entdeckung des Penizillins als einziges Mittel gegen die Tuberkulose.

Die Achillesferse der Tuberkulose-Erreger

Auf welche Weise können neue Antibiotika den Erreger der Tuberkulose lahmlegen? Das weiß der Jülicher Dr. Lothar Eggeling. Seinem Team und Forschern der Universität Birmingham gelang es, ein Enzym der Tuberkulose-Bakterien zu isolieren, an dem die neuen Wirkstoffe angreifen.

Tuberkulose war eine Volksseuche, bevor Mitte der 1940er Jahre das Penizillin auf den Markt kam und die „Schwindsucht“ in Europa zurückdrängte. Doch schon der Entdecker dieses ersten Antibiotikums, Alexander Fleming, warnte davor, dass Bakterien leicht resistent dagegen würden. Und er behielt recht: Bei jeder 20. Neuerkrankung sind die wichtigsten Tuberkulosemittel nutzlos, wie die Weltgesundheitsorganisation berichtet – und jährlich erkranken mehr als neun Millionen Menschen neu.

Der Bedarf an neuen Antibiotika ist daher groß. Um Medikamente gegen die Erreger der Tuberkulose zu entwickeln, suchen Forscherinnen und Forscher nach deren Schwachpunkten. „Wir wollen wissen, wo die Stoffwechselwege der Bakterien besonders verletzlich sind,

wo sozusagen ihre Achillesferse ist“, sagt Dr. Lothar Eggeling vom Institut für Bio- und Geowissenschaften, Bereich Biotechnologie. „Dafür ist es nötig, die Struktur der Enzyme im Stoffwechsel zu kennen, an denen potenzielle Arzneimittel ansetzen können.“

Eggelings Team gelang es, ein Bakterien-Enzym namens DprE1 zu isolieren. An dieses bindet eine neue Gruppe von Antibiotika-Wirkstoffen, die Benzothiazinone. Die Aufgabe von DprE1: Es stellt einen Baustein der Bakterienzellwand her. „Dieses Enzym ist für die Bakterien definitiv unverzichtbar“, betont Eggeling. „Damit ist DprE1 ein besonders geeigneter Angriffspunkt für Antibiotika.“

ZWEI ANGRIFFSPUNKTE

Wo dieser Angriff stattfindet, entdeckten die britischen Kollegen. Anhand

von Kristallen aus dem Bakterienenzym DprE1 und verschiedenen Varianten der neuen Antibiotika konnten sie erkennen, wo die Wirkstoffe ansetzen. Dabei fanden die Forscher gleich zwei Angriffspunkte: Eines der Antibiotika koppelt sich fest an eine bestimmte Aminosäure von DprE1. Eine andere Variante des Wirkstoffs lagert sich an einem sogenannten Loop an, also einer schlaufenartigen Struktur.

Eggeling hebt hervor: „Dass wir nun gleich zwei Regionen in DprE1 gefunden haben, an denen die Wirkstoffe ansetzen können, erhöht die Chancen ganz beträchtlich, weitere Varianten des neuen Antibiotikums herzustellen und daraus neue Arzneimittel zu entwickeln.“ ::



Lothar Eggeling untersucht, wo Krankheitserreger durch neue Antibiotika angreifbar sind.

Protonen in der Turboschicht

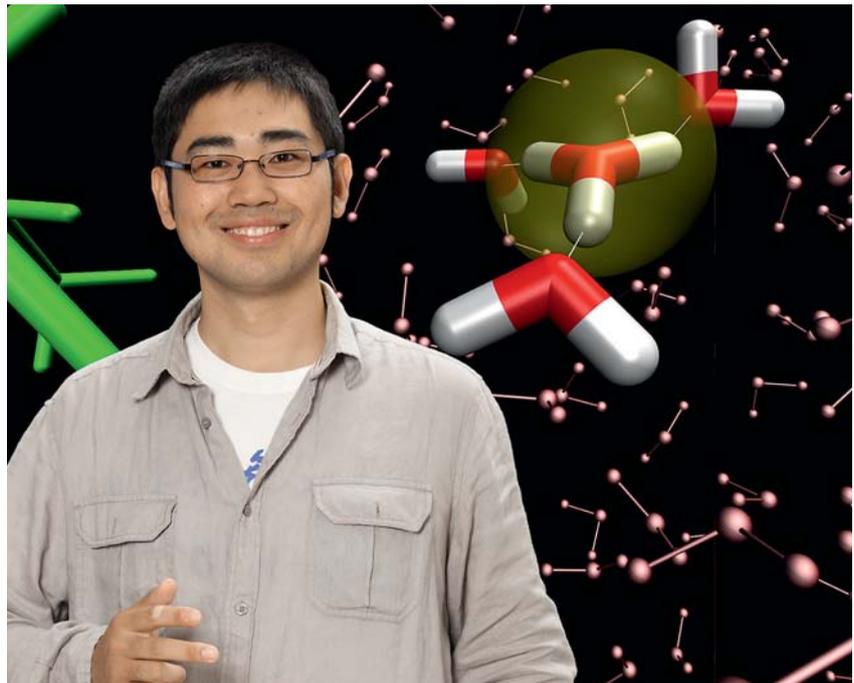
Die Protonenwanderung auf der Zellmembran spielt eine wichtige Rolle bei der Energieproduktion in Zellen. Mithilfe einer Simulation konnten Jülicher Forscher nun aufzeigen, dass es eine bisher unbekannte Grenzschicht geben muss, in der sich die Protonen schnell und zielsicher bewegen.

Jede lebendige Zelle ist ein Kraftwerk, und zwar eines, das seinen Treibstoff selbst herstellt. Wie das genau funktioniert, ist eine der großen Fragen der Lebenswissenschaften. Man weiß zwar, dass das Molekül Adenosintriphosphat (ATP) als Energielieferant aller Zellen fungiert, und man weiß, dass alle Zellen ATP reproduzieren, wofür sie die Energie nutzen, die durch ein Gefälle der Protonendichte auf den beiden Seiten der Zellmembran entsteht. Aber sobald es an die Details geht, ist vieles unklar.

Etwa die Wanderung der Protonen auf der Zellmembran. „Die Frage ist: Wie gelingt es den Protonen, sich so zu bewegen, dass sie die Protonenpumpen, die das Gefälle regulieren, zügig erreichen?“, sagt Chao Zhang. Der chinesische Physiker promoviert bei Prof. Paolo Carloni, Leiter der Arbeitsgruppe für Computational Biomedicine, die seit Anfang 2012 zum Jülicher Institute for Advanced Simulation (IAS 5) gehört.

Linzer Kooperationspartnern der Gruppe gelang es, die hohe Geschwindigkeit der Protonen auf der Zellmembran zu messen: „Sie sind so schnell, als würden sie durch Wasser gleiten, während sie gleichzeitig an der Membran haften – die sie eigentlich abbremsten sollte“, so Carloni.

Während die Experimentalforscher dieses Ergebnis nicht erklären konnten, nutzte Zhang die Möglichkeiten der Computersimulation. „Ich habe die Physik erzählen lassen, was passiert“, so der Physiker. Er hat dazu die Protonenwanderung „ab initio“ simuliert, was bedeutet, dass er die Bewegung mit kleins-



Lässt die Physik erzählen, was auf der Membran passiert: Der Physiker Chao Zhang, Doktorand am IAS 5. Hier vor einem Modell des Protonentransports auf der Zellmembran.

ten Teilchen nachgebildet und dabei auch quantenmechanische Effekte berücksichtigt hat. Dabei erfordern bereits einige hundert Atome enormen Rechenaufwand: Mit 2.000 Atomen ist die Simulation des chinesischen Nachwuchswissenschaftlers eine der größten der Biophysik weltweit.

Diese Komplexität hat selbst dem Jülicher Petaflop-Rechner JUGENE zu schaffen gemacht. 100 Tage hat er gebraucht, um den Protonentransport für einige Billionstel-Sekunden zu simulie-

ren. Das Ergebnis könnte die Sicht auf die Energieproduktion in der Zelle verändern: „Es muss eine zweite Schicht zwischen Zellmembran und Wasser geben, auf der sich die Protonen so schnell wie in Wasser bewegen, während sie an der Membran haften“, sagt Zhang. Die bisher unbekannte Schicht besteht aus Grenzflächenwasser, einem wegen der Nähe zu einer Oberfläche speziell strukturierten Wasser. Wie diese Schicht genau beschaffen ist, ist eine Frage, die die Biophysiker weiterhin beschäftigen wird. ::

Spieglein, Spieglein – und die Wand

So langsam wird es ernst mit ITER, dem internationalen Fusionsversuchsreaktor, der in Südfrankreich entsteht. Eine Reaktorwand der Jülicher Plasmaforscher durchläuft gerade die letzten Tests. Ein Spiegelsystem hat noch etwas mehr Zeit.

Das Metall Wolfram ist schwer, sehr schwer. Das merkt man spätestens dann, wenn Dr. Philippe Mertens einem ein Stück in die Hand drückt. „Wolfram hat sich als Material der Wahl für die Wand der Fusionskammer erwiesen“, berichtet der Projektleiter am Institut für Energie- und Klimaforschung. „Es schmilzt erst bei über 3.400 Grad Celsius, hat eine hohe Masse und zerstäubt nicht.“ Also ideal für ein Material, das mit einem 100 Millionen Grad heißen Plasma in Berührung kommt.

GENERALPROBE IM KLEINEN BRUDER

Wolfram, das sich schon in Form von Glühfäden in unseren alten Glühbirnen bewährt hat, soll einen heiklen Teil von ITERs Reaktor bilden: den Divertor. „Das ist der Abfluss des Fusionsreaktors und die einzige Zone, wo die Wand des Reaktors direkt mit dem Plasma wechselwirkt“, erläutert Mertens. „Es muss daher die höchsten Belastungen aushalten.“

Wie bei einer Fahrradkette sind viele der nur etwa 5 Zentimeter großen, aber massigen Wolframlamellen aneinandergereiht. In Viererreihen nebeneinander

bilden viele Tausend dieser Lamellen den ringförmigen Divertor.

In Mertens Labor in Jülich lassen sich im Moment aber nur noch Einzelstücke bewundern. „Der Löwenanteil ist bereits nach England gereist“, erzählt er. Im Fusionsreaktor JET im britischen Culham sollen die Jülicher Bauteile in allen entscheidenden Tests zeigen, was sie können. Insgesamt über 2 Tonnen Wolfram haben Mertens und sein Team dort installiert. Den weniger komplizierten Teil von JETs Reaktorwand bildet das viel leichtere Metall Beryllium.

Weiterhin im Rennen, aber weit abgeschlagen, ist Graphit: Das aus reinem Kohlenstoff bestehende Material, das jeder aus der Bleistiftmine kennt, wurde lange Zeit als Favorit für die Kammerwand gehandelt. „Es hat sich aber gezeigt, dass Kohlenstoff mit dem Brennstoff reagiert und radioaktive Ablagerungen im Reaktor bilden kann“, erläutert Mertens.

Die offizielle und endgültige Entscheidung, woraus ITERs Wand bestehen soll, wird bereits in einem Jahr fallen - basierend hauptsächlich auf den Ergebnissen

in England. Bisher spricht alles für die dort installierte Version aus Beryllium und Wolfram. Nur eine Unsicherheit gibt es noch: „Wolfram darf keinesfalls im Betrieb schmelzen“, berichtet Mertens. „Im Praxistest müssen wir das jetzt sicher ausschließen.“

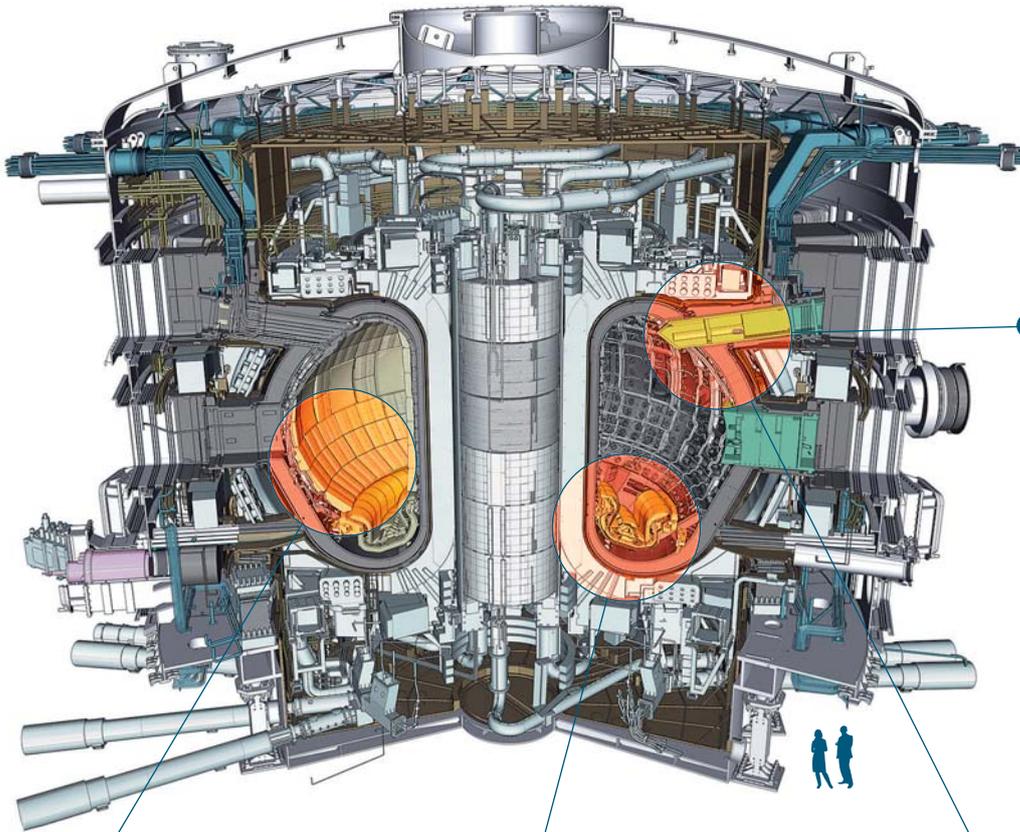
Wird die Wärme gleichmäßig auf den gesamten Divertor verteilt, ist das extrem unwahrscheinlich. Zwar ist das Innere des Plasmas 100 Millionen Grad heiß, aber die Hitze nimmt zum Rand des Plasmas hin schnell ab. Außerdem überträgt sich die Wärme nicht so schnell auf das massive Metall. 2.000 Grad muss es maximal aushalten – eigentlich kein Problem für Wolfram. „Aber wenn nur eine Lamelle minimal höher aus der Wand ragt als die anderen, dann trifft das Plasma dort auf“, erklärt der Forscher. „An der Stelle würde es dann auch für Wolfram zu heiß.“ Mertens ist aber zuversichtlich: „JET ist bereits in Betrieb. Und bisher ist unsere Wand ein Riesenerfolg.“

HERR DER SPIEGEL

Mehr Zeit bis zur Generalprobe hat Dr. Andrey Litnovsky. Er forscht an Spiegeln für ITER. Diese sollen Licht aus der Fusionskammer herausleiten, damit es sich außerhalb des Reaktors untersuchen lässt. Licht entsteht, wenn das Plasma bei hohen Temperaturen zündet – deshalb leuchten auch die Sterne am Himmel, von denen die meisten aus Plasma bestehen. „Das Licht verrät viel über die Eigenschaften eines Sterns, so



Seit Juli 2010 laufen die Bauarbeiten am Fusionsversuchsreaktor ITER im südfranzösischen Cadarache. Im November 2020 soll er in Betrieb gehen.



Jülicher Hotspots

ITER-Projekte des Forschungszentrums

1 Port-Plugs: Untersuchung des Plasmas

Port-Plugs sind Einschübe in das Vakuumgefäß von ITER. Forscher aus Jülich, Karlsruhe, den Niederlanden, Großbritannien und Ungarn entwickeln die Komponenten für den CXRS-Port-Plug. Dieses Messsystem erlaubt die Untersuchung der Plasmatemperatur und -zusammensetzung und der Dichte der „Fusionsasche“ (Helium). Hierzu wird ein hochenergetischer Teilchenstrahl ins Plasma eingestrahlt und das dadurch erzeugte sichtbare Licht untersucht. Der Jülicher Fokus liegt auf dem CXRS-Spiegelsystem, das das erzeugte Licht aus dem Plasma lenkt und für weitere Analysen verfügbar macht, sowie auf der Entwicklung der zugehörigen mechanischen Komponenten.

2 Ventil zur Vermeidung von Plasma-Abbrüchen

Wenn das Plasma zusammenbricht (Disruption), gibt es seine gesamte Energie schnell an die Wände der Brennkammer ab und schädigt diese dadurch lokal. Eine rasche Zufuhr von Gas kann die Plasmaenergie jedoch in Lichtenergie umwandeln. Dadurch wird sie gleichmäßig verteilt abgegeben und eine beginnende Disruption abgemildert (Strahlungskühlung). Jülicher Forscher entwickeln und testen ein Ventil, das schnell genug Gas einlassen kann. Ein möglicher Platz für das Ventil sind die Port-Plugs (siehe 1).

3 Material des Divertors

Über den Divertor wird das bei der Fusion entstehende Helium sowie ein Teil der Wärme aus dem Plasma abgeführt. Hierfür werden hochbelastbare Komponenten und Materialien benötigt. Jülicher Forscher haben Divertormodule aus massivem Wolfram entwickelt, die sie im Fusionsexperiment JET in Großbritannien testen. Ähnliche Module sollen auch Teil von ITER werden. Um den Divertor weiter zu optimieren, entwickeln und verwenden die Wissenschaftler numerische Modelle, mit deren Hilfe sie die Geometrie der Divertorplatten verbessern und die Helium-Abfuhr maximieren wollen.

4 Messmethode zur Wandüberprüfung

Ein kleiner Teil des Fusionsbrennstoffs Tritium wird in die Wand der Brennkammer eingelagert und in abgetragenes Wandmaterial. Jülicher Forscher entwickeln und testen verschiedene lasergestützte Messverfahren, um diese Tritium-Menge zu bestimmen. Sie erarbeiten auch den Einsatz von austauschbaren Testoberflächen in der ITER-Wand für Langzeitbeobachtungen der Materialabtragung und Wiederablagerung.

auch über das Plasma: Welche Verunreinigungen hat es? Wie heiß ist es?“, führt Litnovsky aus. Kameras und Messgeräte direkt in die Wand der Kammer einzubauen, wäre bei ITER aussichtslos: Die entstehenden Neutronen würden die Lichtfaser der Geräte sofort trüben.

Litnovsky benutzt als Spiegel hauptsächlich etwa 2 Zentimeter große kreisrunde Scheiben aus dem Metall Molybdän. Sein größtes Problem bisher: „Sie laufen schnell an, weil sich Schmutz auf

ihnen absetzt. Denn im Reaktorbetrieb entstehen immer auch Verunreinigungen.“ Daher haben die Forscher einen Kanal vorgeschaltet, durch den das Licht seinen Weg zum Spiegel findet. Eine Schutzklappe versperrt den Kanal. „Erst ein vom Plasma erzeugtes Magnetfeld aktiviert das Öffnen der Schutzklappe“, erklärt Litnovsky. „Während das Plasma zündet und die meisten Verunreinigungsteilchen mobil sind, ist die Klappe hingegen geschlossen.“ Zusätzlich sind in dem

Kanal mechanische Hindernisse eingebaut, sogenannte Aperturen, die Verunreinigungsteilchen wegreflektieren, so dass ihr Weg zum Spiegel erschwert ist. So werden die Spiegel geschont.

Im Moment testet der Forscher das System im US-amerikanischen Forschungsreaktor DIII-D in San Diego. In Kürze werden Experimente in den Versuchsreaktoren TEXTOR in Jülich und in ASDEX Upgrade in Garching starten. Später muss es sich auch in JET bewähren. ::



Peter H. Weiss-Blankenhorn und Anna Dovern gehen der faszinierenden Begabung von Synästheten nach – diese Menschen sehen Buchstaben oder Zahlen in Farbe oder schmecken sogar Wörter.

Außergewöhnliche Gabe dank starker Netzwerke

Für manche Menschen ist die Welt ein bisschen bunter. Sie sehen Zahlen und Buchstaben in Farbe. Oder sie schmecken oder fühlen sogar Wörter oder Töne. Synästhesie heißt dieses faszinierende Phänomen.

Hierbei kommt es zu einer außergewöhnlichen Verknüpfung von Sinnesindrücken im Gehirn. Jülicher und Münchener Wissenschaftler fanden in einer aktuellen Studie heraus, dass bestimmte Netzwerke im Gehirn von Synästheten vielfach stärker verknüpft sind als bei Nicht-Synästheten.

Praktisch ist diese Gabe auch – viele Synästheten berichten, dass sie sich Telefonnummern oder Adressen dank des zusätzlichen Farbcodes sehr leicht merken können. „Ich habe ein sehr gutes Zahlengedächtnis“, bestätigt Frauke Schröder, die als Probandin an der Studie teilgenommen hat. „Mir Geburtstage

oder Jahreszahlen zu merken, fällt mir sehr leicht“, berichtet sie.

TRIMM-TRAB FÜRS GEHIRN

Schon länger bekannt ist die Tatsache, dass besondere Begabungen oder auch körperliches Training Spuren im Gehirn hinterlassen. Jonglieren lernen, zum Beispiel, verändert die äußere graue Substanz des Gehirns. Ähnlich verhält es sich bei der Gehirnanatomie von Synästheten. Hier hatte Prof. Peter H. Weiss-Blankenhorn, Neurowissenschaftler am Forschungszentrum Jülich, vor zwei Jahren festgestellt, dass die graue Gehirnschicht in zwei Bereichen des Gehirns

vermehrt war. Zum einen im rechten unteren Schläfenlappen, einer Gehirnregion, die auf Farbwahrnehmung spezialisiert ist, und zum anderen im linken Scheitellappen. „Das Interessante ist, dass es bei Synästhesie nicht nur zu einer Veränderung des Gehirns in der Region für Farbwahrnehmung kommt, sondern auch im Scheitellappen, der die Aufgabe hat, verschiedene Sinnesindrücke miteinander zu verknüpfen“, erklärt Weiss-Blankenhorn die Befunde.

Synästheten sieht er als glückliche Fügung der Natur. „Im Gegensatz zu neurologischen Patienten, denen oftmals Fähigkeiten fehlen, haben Synästheten



Die Farbwahrnehmung ist bei jedem Synästheten individuell unterschiedlich – sie bleibt jedoch lebenslang konstant.

etwas zu viel, ohne krank zu sein“, betont er. Frauke Schröder – Referendarin für Chemie und Spanisch – schätzt sich ebenfalls glücklich: „In nur drei Tagen habe ich alle Namen der neuen Schüler, die ich zurzeit unterrichte, auswendig gewusst. Auch chemische Formeln kann ich mir aufgrund der farblichen Assoziationen sehr gut merken.“

In der aktuellen Studie wollten die Forscher nun wissen, ob die anatomisch veränderten Bereiche untereinander auch verstärkt kommunizieren. Hierzu untersuchten sie die Ruheaktivität des Gehirns von insgesamt 24 Probanden – zwölf Synästheten und zwölf Studienteilnehmer ohne diese besondere Gabe.

SELBST IN RUHE KEINE FUNKSTILLE

Die Aufgabe für die Probanden lautete: entspannen, Augen schließen und an nichts denken. Dr. Anna Dovern, die alle Probanden mittels funktioneller Kernspintomografie untersuchte, berichtet: „Im Gehirn ist immer etwas los, auch in Ruhephasen. Wir wollten feststellen, welche Gehirnregionen ohne äußere Reize miteinander gekoppelt sind.“ Gemeinsam mit dem Münchener Team um Dr. Valentin Riedl werteten die Jülicher Wissenschaftler die komplexen Datensätze aus. Das Ergebnis war eindeutig: Bei Synästheten war die Kopplung in den einzelnen Netzwerken stärker ausgeprägt und es bestand zudem eine dreifach intensivere Kopplung zwischen den Netzwerken. Dabei fanden die Forscher heraus, dass nicht nur die für Farbwahrnehmung und Sinnesverknüpfung zu-

ständigen Bereiche ein starkes Netzwerk betreiben, sondern auch Regionen des Gehirns involviert sind, die für Höreindrücke zuständig sind. Das kann auch Frauke Schröder aus eigener Erfahrung bestätigen. Wenn sie ein Buch liest, sind die Worte für sie schwarz gedruckt auf weißem Papier – gesprochen oder gehört jedoch kleidet sich der Freitag in grün, ihr eigener Name in Gelbtönen und der Sonntag erscheint rabenschwarz. „Ob es etwas damit zu tun hat, dass nach dem Sonntag wieder eine Arbeitswoche wartet?“, fragt sie scherzhaft. „Mittwochs hatte ich als Kind immer Turnen – und der Wochentag Mittwoch ist bei mir schon immer, seit ich denken kann, rot“, sagt die angehende Gymnasiallehrerin.

Wie stark die Sinneseindrücke bei den untersuchten Synästheten jeweils verankert sind, konnten die Wissenschaftler an den Gehirnschans ablesen. „Ganz eindeutig korreliert die Stärke der Kopplung mit der Konsistenz der synästhetischen Wahrnehmung der einzelnen Synästheten“, erklärt Weiss-Blankenhorn. Denn die Assoziation zwischen Farben und Zahlen sind individuell unterschiedlich intensiv. „Das spiegelt sich eindeutig auch in den Netzwerkstrukturen der Studienteilnehmer wider“, freut sich Weiss-Blankenhorn.

Nicht beantworten können die Forscher jedoch die Frage, ob Synästheten



Eine besondere Form der Synästhesie ist das Erzeugen von Farbeindrücken durch Töne. Der amerikanische Komponist Michael Torke verfügt beispielsweise über diese Zusatzbegabung.

ihre zusätzlichen Fähigkeiten einem besonderen Netzwerk verdanken oder aber die Fähigkeiten selbst erst für die verstärkte Kopplung sorgen. Anna Dovern sagt: „Hierzu müsste man Synästheten von frühen Kindesbeinen an über Jahre hinweg systematisch untersuchen. Nur so könnte man feststellen, ob die außergewöhnlichen Netzwerkstrukturen angeboren sind oder ob die Zusatzbegabung über die Zeit ihre Spuren im Gehirn hinterlässt, ähnlich eben wie ein Trainingseffekt beim Jonglieren.“



Für Frauke Schröder ist die Woche bunt sortiert: Der Mittwoch war für sie schon immer rot.

NEUE WEGE DER REHABILITATION

Neurologe Weiss-Blankenhorn wertet die Untersuchungen als enorm hilfreich für die Klinik. Denn je mehr die Wissenschaftler und Ärzte über unterschiedliche gesunde Netzwerke im ruhenden Gehirn wissen, desto besser können sie Funktionsstörungen im Gehirn schwer erkrankter Menschen einschätzen. Bei Schlaganfallpatienten sei dank der modernen bildgebenden Verfahren die betroffene Stelle im Gehirn sehr gut zu lokalisieren, beschreibt er die Situation. „Wir sehen es in der Praxis aber immer wieder, dass zwei Patienten, die am gleichen Ort im Gehirn eine Läsion haben, schlussendlich ganz unterschiedliche Defizite zeigen“, fügt er an. „Das lässt sich nur so erklären, dass das Netzwerk bei beiden unterschiedlich angelegt ist.“ Gleichzeitig wollen die Mediziner verstehen, wie das Gehirn der Patienten stimuliert werden kann, um das Netzwerk wieder zu verbessern. So könnten in Zukunft die durch den Schlaganfall entstandenen Defizite teilweise oder unter günstigen Bedingungen sogar gänzlich kompensiert werden.

Watsons Nachfolger im Blick

Der Europäische Forschungsrat setzt auf Prof. Paul Kögerler: Der Jülicher Chemiker erhält mit 1,5 Millionen Euro Europas höchste Nachwuchsförderung. Seine Forschung soll den Durchbruch für die übernächste Computergeneration ermöglichen.

Watson heißt der IBM-Supercomputer, der 2011 zwei Gewinner der US-Quizshow „Jeopardy!“ besiegte. Er bewies: künstliche Intelligenz kann die menschliche auch in komplexen Sprach- und Wissensaufgaben schlagen. Fürs Publikum unsichtbar blieben allerdings die dafür erforderlichen 80 Trillionen Prozesse pro Sekunde und der massive Stromverbrauch Watsons.

Hier setzt Prof. Paul Kögerler vom Jülicher Peter Grünberg Institut, Bereich Elektronische Eigenschaften (PGI 6), an. „Die Mikroelektronik muss mit dem bisherigen Computerdesign brechen und sich an der nichtbinären Arbeitsweise des Gehirns orientieren. Nur so kann sie dramatisch energieeffizienter funktionieren und noch komplexere Vorgänge beherrschen als Watsons künstliche Intelligenz“, skizziert Kögerler die anvisierte Revolution.

Das Experiment Watson belegt zwar, dass künstliche Intelligenz aus einer riesigen Datenbank Fakten logisch kombinieren kann. Dennoch ist das menschliche Gehirn ein Sparfuchs: Es verbraucht nur ungefähr so viel Energie wie eine 50-Watt-Glühbirne. Und bei assoziativen Prozessen wie dem Sprachverständnis ist unser Denkkorgan trotzdem immer noch jedem Rechner haushoch überlegen. Kögerlers Forschung zielt daher zunächst auf eine leistungsfähigere und energieeffizientere Transistorentechnik. Die Basis hierfür sieht der Chemiker in magnetischen Molekülen, die sich mit minimalen Spannungen präzise ansteuern lassen. Dass sein Forschungsansatz vielversprechend ist, bestätigte ihm nun der Europäische Forschungsrat (ERC, European Research Council). Er verlieh ihm den ERC Starting Grant.



Paul Kögerler erforscht in seinem Labor magnetische Moleküle, die sich mit minimalen Spannungen präzise ansteuern lassen. Auf dieser Basis entstehen neuartige Transistoren für energiesparende Computer.

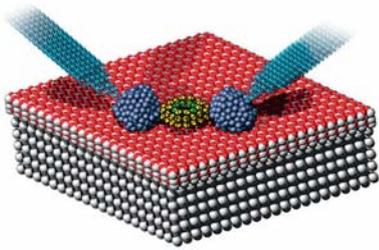
Das Rennen um den Transistor der übernächsten Generation kann mit den EU-Forschungsgeldern nun in die nächste Runde gehen. Denn weltweit tüfteln Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler an der Grundidee, die auch Kögerler und sein Team beschäftigt: Das Silizium in Transistoren soll magnetischen Molekülen weichen. „Das Interessante an diesen Molekülen ist, dass sie sogenannte nichtlineare Effekte zeigen“, erklärt Kögerler und fügt an: „Nichtlinear bedeutet: diese Moleküle zeigen scharfe – also sehr gut messbare – Änderungen in ihrem Verhalten, wenn die angelegte Spannung auch nur ein kleines bisschen verändert wird.“

Somit wäre ein Transistor auf der Basis eines magnetischen Moleküls mit mi-

nimaler Spannung – und somit extrem niedrigem Energiebedarf – präzise steuerbar.

KNACKPUNKT: KONTAKTIERUNG

Der Haken: Nirgends gelingt es, die aus den magnetischen Zuständen einzelner Moleküle entstehenden, teils sehr komplexen Schalteigenschaften zuverlässig zu nutzen. Denn jeder äußere Einfluss – also auch ein Kontakt mit einer Elektrode – verändert sowohl die magnetischen als auch die elektronischen Eigenschaften der Moleküle. Zudem ist es nicht unwesentlich, wo genau am dreidimensionalen Molekülgerüst ein Kontakt stattfindet. Die Reaktionen des magnetischen Moleküls fallen je nach



Geplantes Ladungstransport-Experiment: Zwei Tunnelmikroskop-Spitzen berühren zwei metallische Kontaktcluster (graublau), die zuvor synthetisch an das magnetische Molekül (gelb-grün) angebracht wurden. Das Molekül ruht auf einer Gate-Elektrode, die die molekularen Energiezustände kontrolliert.

Kontaktstelle immer unterschiedlich aus und sind, sofern nicht präzise lokalisiert, völlig unberechenbar. An diesem technischen Knackpunkt setzt Kögerler an. Er will herausfinden, wie eine exakt lokalisierte Kontaktierung des magnetischen Moleküls möglich ist. Dadurch soll das zentrale Molekül reproduzierbare Effekte auf Spannungsänderungen zeigen. Dabei haben er und sein Team den Vorteil, dass sich die von ihnen untersuchten Metalloxid-Nanomoleküle stabiler zeigen als andernorts getestete konventionelle magnetische Moleküle.

„Wir stützen uns auf sogenannte Polyoxometallate, das sind stabile molekulare Molybdän- und Wolframoxide. Deren Strukturen und elektronische Zustände können wir sehr genau einstellen“, erläutert Kögerler. Das Ziel der Forscher ist es nun, an diese Moleküle auf chemischem Wege präzise positionierte funktionelle Gruppen anzuhängen. Diese „Klebstoffmoleküle“, wie Kögerler sie salopp nennt, beeinflussen im Idealfall weder die elektronischen noch die magnetischen Eigenschaften des zentralen Moleküls. „Wir bereiten quasi den ‚Handshake‘ zwischen den magnetischen Molekülen und den Elektroden vor“, umschreibt der Chemiker seinen Ansatz. Die verbindenden Elemente werden nach den Plänen des Forscherteams dann sowohl den störungsfreien Kontakt zu leitenden als auch nichtleitenden Bauteilen ermöglichen.

Vier konkrete Molekülgruppen hat Paul Kögerler mit seinen Forscherkollegen ins Auge gefasst. Um welche Moleküle es sich genau handelt, will Kögerler

noch nicht verraten. Zu umkämpft ist hier das weltweite Ringen um den Transistor der Zukunft. „Wir testen zunächst alle vier Kandidaten parallel in unterschiedlichen Arbeitsgruppen“, beschreibt Kögerler das strategische Vorgehen, „so bleiben uns mindestens zwei Jahre, um die beiden Stränge der Funktionalität der magnetischen Moleküle auf der einen Seite und der möglichen Einbindung in ein Transistorlayout auf der anderen Seite zusammenzuführen.“

„Ohne Einbettung in unser hervorragendes Forschungsumfeld in Aachen und Jülich wäre so ein großes Projekt nicht zu realisieren“, sagt Kögerler, Gruppenleiter für molekularen Magnetismus am PGI 6 und RWTH Aachen-Professor für Anorganische Chemie. „Insbesondere das weltweit einzigartige Nano-Cluster-Tool* am PGI 6 hilft uns dabei, unsere Moleküle samt funktioneller Gruppen mittels verschiedener Analyse- und Präparationsmethoden in unerreichter Präzision herzustellen und zu untersuchen.“

Eingebunden in JARA-FIT** durchleuchtet der 41-Jährige seit 2006 die molekulare magnetische Materie. Bis zum Ende des Jahres soll sein Team auf 20 Kolleginnen und Kollegen anwachsen. Gelänge es der gebündelten Forschungskraft, die Moleküle bis 2017 zuverlässig zu kontaktieren, könnte deren Einsatz in Transistoren getestet werden. Diese Praxisteststreife ist Voraussetzung für Kögerlers Bewerbung um die Anschlussfinanzierung, den ERC „Proof of Concepts“ Grant. ::

ERC Starting Grant

Der ERC Starting Grant für exzellente Nachwuchswissenschaftlerinnen und -wissenschaftler in Europa umfasst bis zu 1,5 Millionen Euro, verteilt auf fünf Jahre. Die Förderung ist für bahnbrechende und visionäre Grundlagenforschung gedacht, bei der die Grenzen zur angewandten Forschung, zwischen den klassischen Disziplinen und zwischen Forschung und Technologie aufgehoben werden. Als administrative „Host-Institution“ für Kögerlers ERC Starting Grant fungiert die RWTH Aachen.

* Das Jülicher Nano-Cluster-Tool vereint mehrere Funktionen in einem Gerät: In einzelnen Schritten können dünnste Schichten und Formen aus einzelnen Atomlagen hergestellt, kombiniert und analysiert werden, ohne die Proben aus dem schützenden Hochvakuum nehmen zu müssen. Zudem verfügt das Gerät über die Möglichkeit, eine elektrische Spannung an die Proben anzulegen.

** Jülich Aachen Research Alliance, Sektion Fundamentals of Future Information Technology (Grundlagen zukünftiger Informationstechnologien)



Mensch gegen Maschine im Jahr 2011: Ken Jennings (links) und Brad Rutter (rechts), Mehrfachchampions der US-Quizshow „Jeopardy!“, hatten gegen den IBM Computer Watson keine Chance.



Elektronische Schätze

Colquiriit (LiCaAlF6)

Einsatzgebiet: Laser-Kristall, Strahlungsdetektoren (Szintillationszähler)

Besondere Eigenschaft: zum Leuchten anregbar

Herstellung: Czochralski-Verfahren – aus der Schmelze gezogen

Ein Reiz für Wissenschaftler der RWTH Aachen und des Forschungszentrums Jülich besteht sicher darin, sich neben den profanen Dingen des Alltags immer wieder mit wahren Schmuckstücken zu befassen. Für diese Kristalle interessieren sie sich vor allem wegen ihrer „inneren Werte“: Einige weisen ungewöhnliche elektronische Effekte auf, wie memristives Verhalten, Multiferroizität oder exotische magnetische Ordnungen. Gelingt es, die Phänomene besser zu kontrollieren, könnte dies bahnbrechende Fortschritte bedeuten für die nächsten Computergenerationen und für erneuerbare Einrichtungen zur Energiespeicherung beziehungsweise Energieumwandlung, wie Akkus und Brennstoffzellen.

Einige der untersuchten Materialien werden bereits seit vielen Jahren industriell genutzt. Lithiumniobat (LiNbO₃) etwa wird vielfach in der Mobilfunktechnik eingesetzt. Andere sind potenzielle Kandidaten für neuartige, nichtflüchtige Datenspeicher beispielsweise oder für

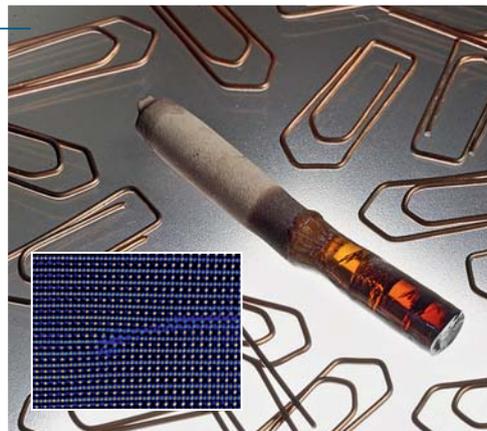
Strontiumtitanat (SrTiO₃)

Einsatzgebiet: Prozessoren, Datenspeicher, Brennstoffzellen

Besondere Eigenschaft: Memristor – elektrischer Widerstand vom Stromfluss abhängig

Herstellung: optical floating zone growth – Zonenschmelzverfahren

Die Aufnahme mit einem Elektronenmikroskop (Bild linke Ecke) zeigt einen Defekt in der regelmäßigen Kristallstruktur von Strontiumtitanat (SrTiO₃), der entscheidend ist für die elektronischen Eigenschaften.



hochempfindliche Sensoren – so das multiferroische LiFeSi₂O₆. Es besitzt sowohl eine magnetische als auch eine, teilweise daran gekoppelte elektrische Ordnung.

Forscher der Jülich Aachen Research Alliance JARA-FIT untersuchen unter anderem mit ultrahochauflösender Elektronenmikroskopie die Mechanismen hinter den besonderen elektronischen Eigenschaften. Memristive Zellen auf der Ba-

sis von SrTiO₃ ändern ihren elektrischen Widerstand abhängig vom bereits hindurchgeflossenen Strom. Sie gelten als mögliche Nachfolger von herkömmlichen Transistoren – schneller, kleiner und deutlich energiesparender. Zudem verarbeiten sie neben „0“ und „1“ auch Zwischenzustände. So sind sie perfekt geeignet zum Aufbau lernfähiger Bauteile nach dem Vorbild biologischer Synapsen. ::



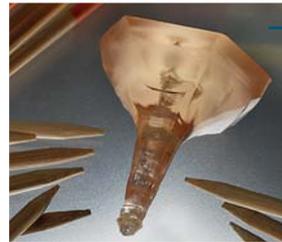
Lithium-Eisen-Pyroxen (LiFeSi₂O₆)
Einsatzgebiet: Potenzial für Datenspeicher und Sensoren
Besondere Eigenschaft: magnetoelektrisches Verhalten
Herstellung: Flux-growth-Verfahren – Lösungskristallisation bei höheren Temperaturen



Lithiumniobat (LiNbO₃)
Einsatzgebiet: nichtlineare optische Bauteile, Laser, Filter und Modulatoren, holografische Datenspeicher
Besondere Eigenschaft: durch elektrische Felder und Lichteinstrahlung veränderlicher Brechungsindex
Herstellung: Czochralski-Verfahren – aus der Schmelze gezogen



Neodym-Gallat (NdGaO₃)
Einsatzgebiet: Trägermaterial für Hochtemperatur-Supraleiter und Verbindungshalbleiter aus der Optoelektronik
Besondere Eigenschaft: Passende Gitterstruktur für Schichtwachstum
Herstellung: Czochralski-Verfahren – aus der Schmelze gezogen



Langsit (La₃Ga₅SiO₁₄)
Einsatzgebiet: Sensoren, temperaturstabile Filter und Resonatoren, Laser-Material
Besondere Eigenschaft: piezoelektrisch – mechanischer Druck an elektrische Spannung gekoppelt
Herstellung: Czochralski-Verfahren – aus der Schmelze gezogen

IMPRESSUM

Forschen in Jülich Magazin des Forschungszentrums Jülich, ISSN 1433-7371 **Herausgeber:** Forschungszentrum Jülich GmbH | 52425 Jülich
Konzeption und Redaktion: Annette Stettien, Dr. Barbara Schunk, Dr. Anne Rother (V.i.S.d.P.) **Autoren:** Dr. Frank Frick, Christoph Mann, Katharina Menke, Brigitte Osterath, Dr. Wiebke Rögner-Schwarz, Dr. Barbara Schunk, Tobias Schlöber, Brigitte Stahl-Busse, Annette Stettien, Rahel Willhardt, Erhard Zeiss **Grafik und Layout:** SeitenPlan GmbH, Corporate Publishing, Dortmund **Bildnachweis:** anaken2012/Shutterstock.com (S. 12-13 o.), Antonio Abrignani/Shutterstock.com (S. 11 u.), Betacam-SP/Shutterstock.com (S. 6-8), Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR) (S. 4 o.r.), JonnyDrake/Shutterstock.com (S. 19 u.), ENGAGE (S. 16), Forschungszentrum Jülich (S.2, 3 o.m., 4 u., 7 o., 11 o., 12 u., 13, 14 u., 15, 18, 20, 21 o., 22, 23), Peter Ginter (S.9 o.), Andreas Heddergott/TU München (S. 10 o.r.), IBM Media Relations (S. 21 u.), ITER Organization 2011 (S. 17), lynea/Shutterstock.com (S. 9 u.), JARA-Brain (S. 5 u.), M. Müser/Universität des Saarlandes (S. 4 o.I.), Hein Nouwens/Shutterstock.com (Titel, Schnabeltier; S. 10 I., 3 o.I.), OlegD/Schutterstock.com (S. 5 o.), Ricciotti (S. 3 o.r.), Helmut Schmitz/Uni Bonn (S. 5, m.), sommthink/Shutterstock.com (Titel, Blutkörper, S. 3 o.I.), Verlag Künzli-Tobler – Zürich/Postkartenmotiv (S. 14 o.)
Kontakt: Geschäftsbereich Unternehmenskommunikation | Tel.: 02461 61-4661 | Fax: 02461 61-4666 | E-Mail: info@fz-juelich.de
Druck: Schloemer Gruppe GmbH **Auflage:** 6.000.



Mix
 Produktgruppe aus vorbildlich bewirtschafteten Wäldern und anderen kontrollierten Herkünften
 www.fsc.org Cert.-Nr. SCS-COC-001641
 © 1996 Forest Stewardship Council



Mitglied der:

