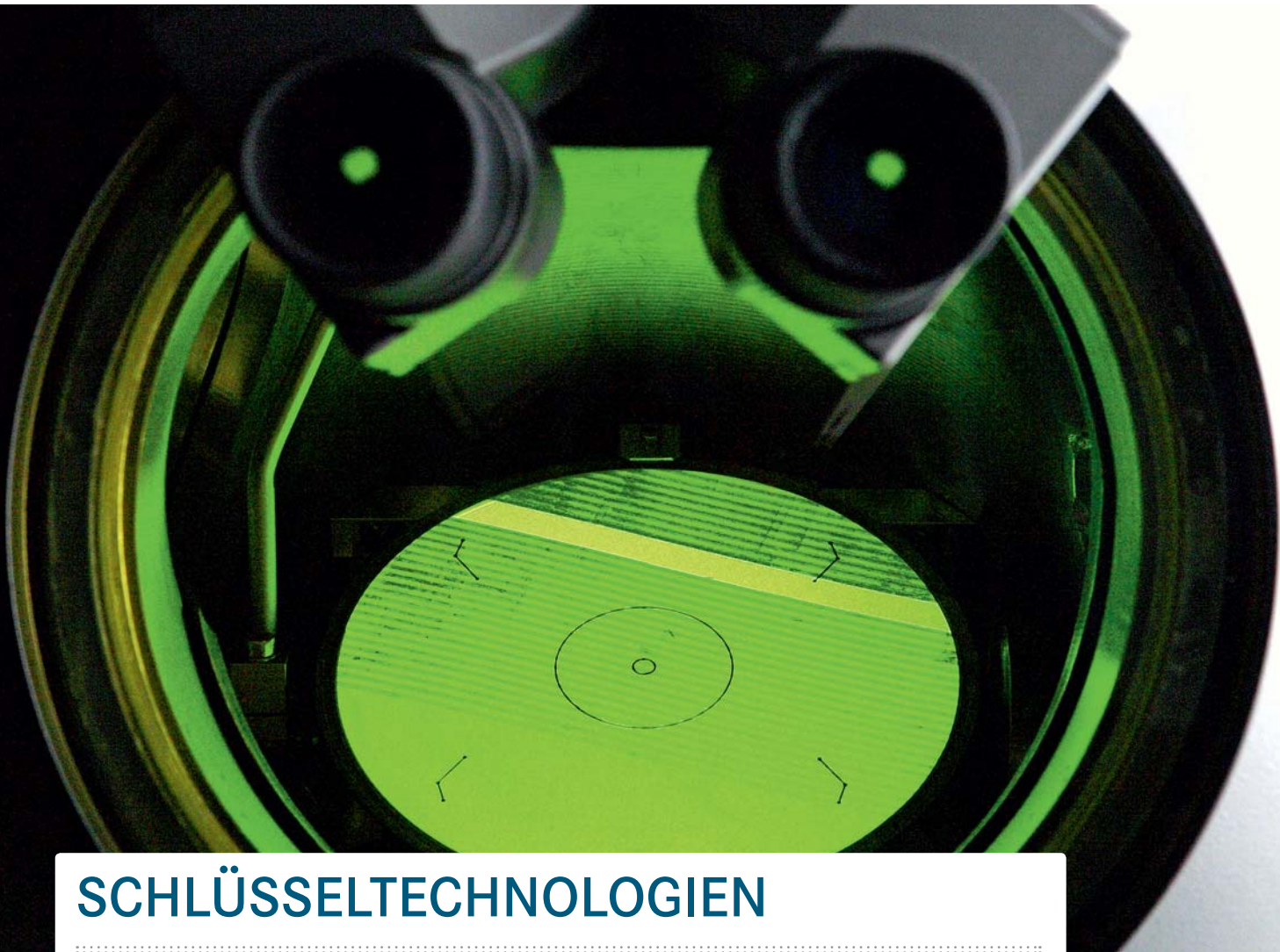


FORSCHEN in Jülich



SCHLÜSSELTECHNOLOGIEN

:: COMPUTER SUCHEN IHRE NACHFOLGER

:: LEUCHTEND PRODUKTIVE BAKTERIEN

:: MIT NEUTRONEN ZU NEUEN MATERIALIEN

FORSCHEN in Jülich

Das Magazin aus dem Forschungszentrum



Schränke des Höchstleistungsrechners JUGENE im Jülich Supercomputing Centre. Simulationen auf Supercomputern liefern Einblicke und Erkenntnisse, die aus physikalisch-technischen, finanziellen und ethischen Gründen ansonsten nicht möglich wären.

Titelbild: Instrumente, mit denen man in die Welt des Allerkleinsten vordringen kann, sind der Schlüssel für neue Materialien und neue nanoelektronische Bauteile. In Jülich stehen den Forschern dazu Geräte wie das Transmissionselektronenmikroskop Titan 80-300 zur Verfügung.



Schlüssel für unsere Zukunft

Die Menschheit steht heute vor gewaltigen Herausforderungen. Wie verlangsamen wir den Klimawandel – und lernen mit seinen Folgen zu leben? Wie bleiben wir im Alter gesund und geistig fit? Und was können wir dazu beitragen, die wachsende Weltbevölkerung zu ernähren? Die Erforschung von Schlüsseltechnologien ist für uns ein Weg, um gezielt Lösungen für diese Aufgaben zu entwickeln. Und sie lohnt sich noch aus einem anderen Grund. „Schlüsseltechnologien sind Treiber für Innovationen und die Grundlage für neue Produkte, Verfahren und Dienstleistungen“, heißt es in der Hightech-Strategie 2020 des Bundes.

Unsere Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler verfolgen fächerübergreifend völlig neue Denkansätze. In diesem Heft finden Sie dafür spannende Beispiele. So entwickeln Jülicher Forscher Komponenten und Rechenverfahren für Supercomputer der höchsten Leistungsklasse. Und setzen sie ein, um die Luftverschmutzung der nächsten Tage oder die Größe des Ozonlochs im Laufe der nächsten Jahrzehnte vorherzusagen. Lesen Sie, an welchen Schlüsseltechnologien Jülicher Forscherinnen und Forscher noch arbeiten, etwa im Bereich Green IT, um den Energiebedarf in der Informationstechnologie zu senken oder um neue biotechnologische Verfahren zu optimieren. Einige Wissenschaftler verwenden Neutronen als Sonden, um selbstheilende und verschleißfeste Materialien zu erforschen – die somit helfen, Energie und Rohstoffe zu sparen. Andere Jülicher Forscherinnen und Forscher verbessern bildgebende Verfahren. Damit werden sie neurologische Krankheiten genauer diagnostizieren können, unter denen aufgrund der demografischen Entwicklung immer mehr Menschen leiden.

An diesen Beispielen wird deutlich, dass Schlüsseltechnologien heute hauptsächlich an den Schnittstellen der klassischen wissenschaftlichen Disziplinen entstehen. Auf dem Jülicher Campus treffen verschiedene Kompetenzen unmittelbar aufeinander, besonders in der Physik, den Material- und Nanowissenschaften, der Informationstechnologie und der Medizin. Außerdem arbeiten wir – oft führend – in zahlreichen europäischen und internationalen Kooperationen mit, gerade wenn sie eine komplexe Forschungsinfrastruktur und den Betrieb großer Instrumente erfordern. Grundlagenforschung betreiben wir ebenso engagiert wie den Transfer von Know-how in Industrie und Gesellschaft. All das macht das Forschungszentrum Jülich zu einem perfekten Ort für die Erforschung von Schlüsseltechnologien. Diese Sichtweise teilen nicht zuletzt auch hochrangige Repräsentanten aus Wirtschaft und Politik, wie die Interviews, die Sie im Heft finden, zeigen.

Viel Vergnügen bei der Lektüre!

Prof. Dr. Achim Bachem
Vorstandsvorsitzender des
Forschungszentrums Jülich

Prof. Dr. Sebastian M. Schmidt
Vorstandsmitglied des
Forschungszentrums Jülich



11

.....

:: COMPUTER SUCHEN IHRE NACHFOLGER

Jülicher Forscher simulieren das menschliche Gehirn auf Höchstleistungsrechnern. Die dabei gewonnenen Erkenntnisse sollen helfen, einmal besonders energieeffiziente Computer und intelligente Roboter bauen zu können.

.....



14

.....

:: LEUCHTEND PRODUKTIVE BAKTERIEN

Dank einer genetischen Zusatzausstattung werden besonders ertragreiche Bakterien fluoreszierend und heben sich dadurch aus der Masse hervor. So wird die Suche nach neuen Bakterienstämmen erleichtert, die in der industriellen Produktion einsetzbar sind.

.....



34

.....

:: MIT NEUTRONEN ZU NEUEN MATERIALIEN

Heiß begehrt etwa für Flugzeuge und Autos sind Werkstoffe, bei denen sich Kratzer und Risse von selbst verschließen, ähnlich wie bei Lebewesen Schrammen und Brüche heilen. Neutronenstreuexperimente helfen, Selbstheilungsmechanismen auf der Ebene der Moleküle zu verstehen.

.....

IN DIESER AUSGABE

3 Editorial

:: SCHNAPPSCHÜSSE

6 Forschung im Überblick

Ein Kaleidoskop von Bildern über aktuelle Höhepunkte aus der Jülicher Forschung an Schlüsseltechnologien – von einem Warnsystem, das Menschenstaus verhindert, bis hin zu einer neuen Methode, ins Innere von komplexen Molekülen zu schauen.

:: SCHLÜSSELTECHNOLOGIEN

8 Atmosphäre im Hochleistungsrechner

Jülicher Atmosphärenforscher nutzen Supercomputer zur regionalen Vorhersage von Luftschadstoffen. Und sie prognostizieren mit Hilfe von Simulationen, wie sich das Ozonloch über der Nordhalbkugel entwickeln wird.

11 Computer suchen ihre Nachfolger

13 „Deutschland steht im Vergleich gut da“

Interview mit Prof. Henning Kagermann, Präsident der Deutschen Akademie der Technikwissenschaften acatech.

14 Leuchtend produktive Bakterien

18 „Wichtig: Technologien, die der Nachhaltigkeit dienen“

Interview mit Prof. Wolfgang Plischke, Vorstandsmitglied der Bayer AG.

19 Blick in die Quantenwelt

Mit der Elektronenmikroskopie lassen sich milliardstel Millimeter große Lageveränderungen von Atomen sehen. Solche Verschiebungen sind für neuartige Datenspeicher bedeutsam.

21 „Es muss eine Kultur geben, in der Neues entsteht“

Interview mit Dr. Joseph Pankert, General Manager Laser Ventures bei Philips.

22 Technologische Zeitreise

Schlüsseltechnologien vorgestern, gestern und heute – in Bildern.

24 Mit Präzision zur Erkenntnis

Jülicher Kernphysiker beschäftigen sich mit einem der großen Rätsel des Universums und entwickeln dabei Teilchendetektoren weiter.

27 „Man sollte nicht jeder Modeerscheinung folgen“

Interview mit Prof. Wolfgang Lück vom Hausdorff Research Institute for Mathematics in Bonn.

28 Den Strukturen der Demenz auf der Spur

Die Alzheimer-Krankheit steht im Mittelpunkt der erfolgreichen Forschung eines Jülicher Teams von Strukturbiologen.

30 Neue Einblicke ins Gehirn

Durch die Weiterentwicklung von tomografischen Verfahren können Strukturen und Stoffwechselfvorgänge im Gehirn detaillierter abgebildet werden als je zuvor.

33 „Fenster in die Zukunft aufstoßen“

Interview mit Staatssekretär a. D. Uwe Thomas.

34 Mit Neutronen zu neuen Materialien

38 Ausblicke rund um Schlüsseltechnologie

Über grüne Informationstechnik, nachhaltige Bioökonomie und die Pläne zur stärksten Neutronenquelle der Welt.

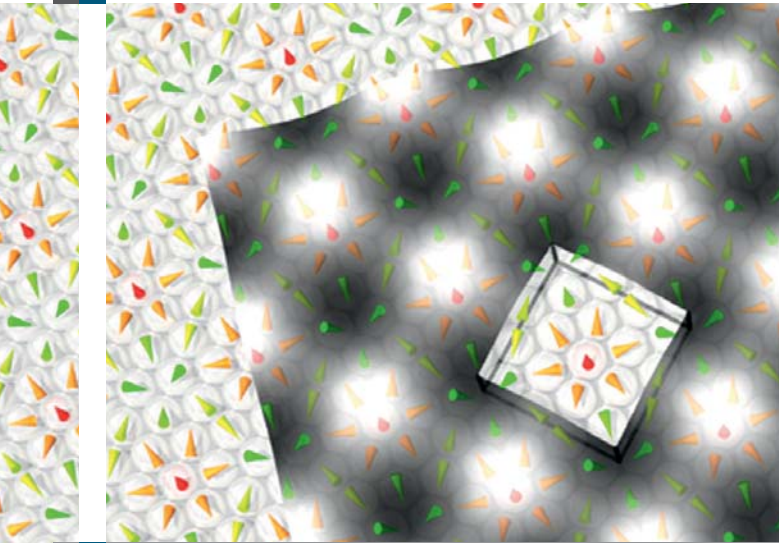
39 Impressum

Magnetische Wirbel

Physiker des Forschungszentrums Jülich und der Universitäten in Hamburg und Kiel haben erstmals auf einer Oberfläche ein regelmäßiges Gitter aus sogenannten magnetischen Skyrmionen gefunden. Das sind wirbelförmige und außergewöhnlich stabile Spinstrukturen, die einmal die Grundlage einer neuen Generation von kleineren und leistungsfähigeren Datenspeichern bilden könnten. Die Forscher entdeckten die magnetischen Wirbel, die jeweils nur aus 15 Atomen bestehen, in einer atomaren Schicht Eisen auf Iridium.

Rolls-Royce testet in Jülich

Wissenschaftler des Forschungszentrums haben speziell für Rolls-Royce, einen der weltweit führenden Hersteller von Flugtriebwerken, einen Teststand entwickelt und aufgebaut. Darauf können die Gasturbinen-Bauteile eines Triebwerkes immer wieder auf über 1400 Grad Celsius aufgeheizt und innerhalb von zwei Minuten auf unter 100 Grad abgekühlt werden. So kann die Lebensdauer der Bauteile und ihrer keramischen Hitzeschutzschichten untersucht werden.



Forschung im Überblick

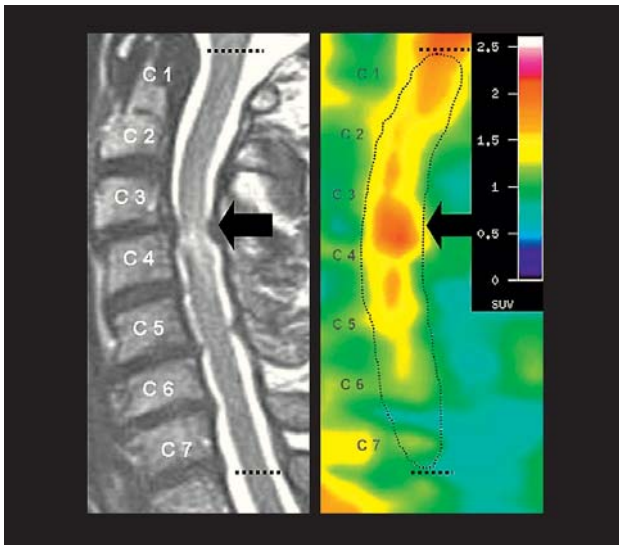
Jülicher Wissenschaftler entwickeln Schlüsseltechnologien weiter und setzen sie gezielt ein. Von den aktuellen Erkenntnissen profitieren Wissenschaft, Wirtschaft und Gesellschaft.

LINKTIPP

www.fz-juelich.de

Vorhersage des OP-Erfolges

Von einer Spinalstenose der Halswirbelsäule sprechen Mediziner, wenn bei Patienten der Wirbelkanal knöchern verengt ist, üblicherweise aufgrund von Verschleiß. In einer Studie mit 20 Patienten haben Jülicher und Düsseldorfer Forscher nun gezeigt: Ob eine Operation klinische Symptome der Spinalstenose wie Sensibilitätsstörungen und Lähmungen verbessern kann, lässt sich durch eine Untersuchung des Stoffwechsels im Halsmark mittels Positronenemissionstomografie (PET) vorhersagen.



Warnsystem gegen Menschenstaus

Bei einem Bundesligaspiel in der Düsseldorfer Esprit-Arena im September 2011 haben Simulationswissenschaftler des Jülicher Supercomputing Centre und mehrere Partner des Projektes „Hermes“ ihren neuartigen Evakuierungsassistenten präsentiert. Das rechnergestützte System erfasst die Personenverteilung auf Großveranstaltungen und sagt kritische Staus vorher, bevor diese überhaupt entstehen. Bei einem Brand oder einem anderen Krisenfall soll es den Einsatzkräften helfen, ein gefährliches Gedränge zu verhindern.



Tunnelblick ins Molekül

Jülicher Physiker haben eine einfache Methode entwickelt, um die Anordnung von Atomen im Inneren von komplexen Molekülen mit Hilfe von herkömmlichen Rastertunnelmikroskopen abzubilden. Damit erweitern sie erheblich die Möglichkeiten dieser Instrumente, die in der Nanotechnologie und den Materialwissenschaften ohnehin schon eine wichtige Rolle spielen. Das neue Verfahren nutzt einzelne Atome zwischen Mikroskopspitze und Probe als eine Art Kontrastmittel. Selbst zwischenmolekulare Kräfte lassen sich auf diese Weise sichtbar machen.

Weltrekord-Simulation

Der sogenannte „schnelle Multipol-Algorithmus“ dient dazu, die Schwerkraft und andere räumlich weitreichende Kräfte zwischen Teilchen zu berechnen. Jülicher Wissenschaftler haben ihn jetzt so verbessert, dass entsprechende Computersimulationen deutlich beschleunigt werden. Während eines Tests mit dem Supercomputer JUGENE berechneten die Forscher ein System aus 3.011.561.968.121 Teilchen in elf Minuten – Weltrekord!

Die Kräfte im Blut

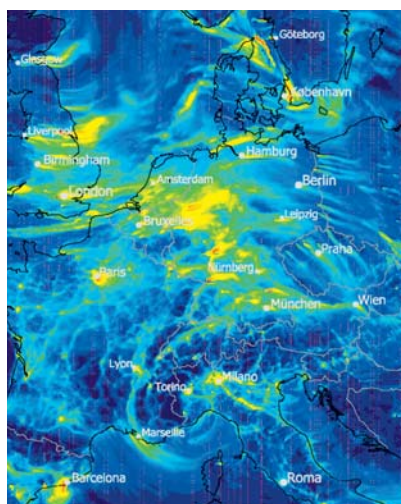
Rote Blutkörperchen ziehen einander an, aber die Kräfte, die dabei wirken, sind winzig. Physiker des Forschungszentrums Jülich und zweier US-amerikanischer Forschungseinrichtungen haben berechnet, dass sie etwa zehn Millionen mal kleiner sind als die Kraft, die durch das Gewicht einer sitzenden Stechmücke verursacht wird. Computersimulationen zeigen, dass diese Minikräfte trotzdem den Strömungswiderstand von Blut bestimmen.



Atmosphäre im Höchstleistungsrechner

Supercomputer dienen Wissenschaftlern unter anderem als virtuelles Mikroskop, Labor oder Teleskop. Manche Forscher nutzen sie sogar als Zeitmaschine: Sie reisen damit in die Vergangenheit und vor allem in die Zukunft unserer Erdatmosphäre.

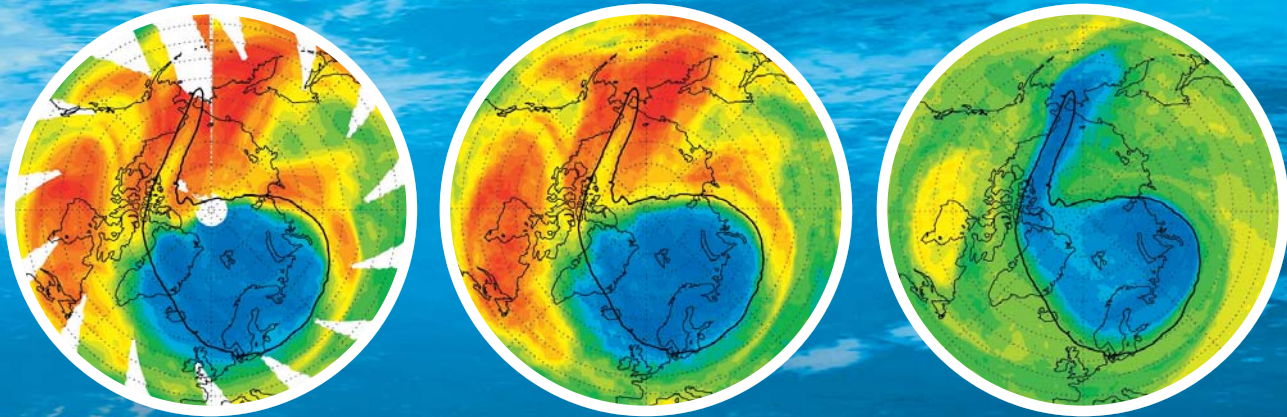
Ein Leben ohne Wettervorhersage, berechnet von den Computern der Wetterdienste, ist für den modernen Menschen kaum vorstellbar. Schließlich soll die Grillparty nicht ins Wasser fallen, das Personal des Biergartens nicht umsonst engagiert werden und der Strom aus den Windkraftanlagen nicht unerwartet ausbleiben. Wissenschaftler wie der Jülicher Forscher Dr. Hendrik Elbern interessieren sich darüber hinaus aber auch für solche Vorgänge in der Atmosphäre, über die Zeitungen und Wettermoderatoren im Fernsehen normalerweise nicht berichten. Am Institut für Energie- und Klimaforschung prognosti-



ziert Elbern mit Hilfe von Computersimulationen, was die Luft der nächsten Tage mit sich bringen wird – welche Menge an Ozon, welche Mengen an Stick- und Schwefeloxiden oder wie viel Feinstaub.

Für die „chemische Wettervorhersage“ entwickelt und betreibt der Atmosphärenforscher gemeinsam mit Wissenschaftlern aus dem Rheinischen Institut

So sah die Vorhersage der Stickstoffdioxid-Werte für den 9. Juni 2011 aus. Blau steht für eine niedrige, Grün und Gelb für eine mittlere und Rot für eine hohe Konzentration.



Dreimal das Ozonloch über der Nordhalbkugel am 28. März 2011: Links die Messung der Ozonkonzentration durch den Satelliten AURA. In der Mitte die entsprechende Berechnung mit dem Computermodell CLaMS. Rechts eine andere Darstellung dieser Simulation, die den Ozonverlust verdeutlicht.

für Umweltforschung der Universität zu Köln ein Modell namens EURAD-IM. „Wir sagen damit täglich die Luftqualität über Europa und über einzelnen Regionen wie etwa dem Ruhrgebiet vorher. Das Ergebnis ist für jedermann im Internet abrufbar“, berichtet Elbern. Die Daten auf der Internet-Seite http://macc-raq.gmes-atmosphere.eu/som_ensemble.php sind beispielsweise wichtig für Asthmatiker, Allergiker oder Freizeitsportler.

Das Computermodell wird auch noch für andere Zwecke eingesetzt. Der Ausbruch des isländischen Vulkans Eyjafjallajökull legte 2010 den Flugverkehr in großen Teilen Europas lahm. Die Atmosphärenforscher aus Jülich und Köln haben damals simuliert, wie sich die Aschewolke ausbreiten wird. „Messungen haben später gezeigt, dass die Vorhersagen in den wesentlichen Punkten gut gestimmt haben“, sagt Elbern. Auch Umweltämter und andere Behörden schätzen die neuen Möglichkeiten durch die Computersimulationen. Mit ihrer Hilfe lässt sich beispielsweise verstehen, warum Luftrein-

haltungsmaßnahmen wie Fahrverbotszonen an bestimmten Tagen erfolgreich sind und an anderen nicht.

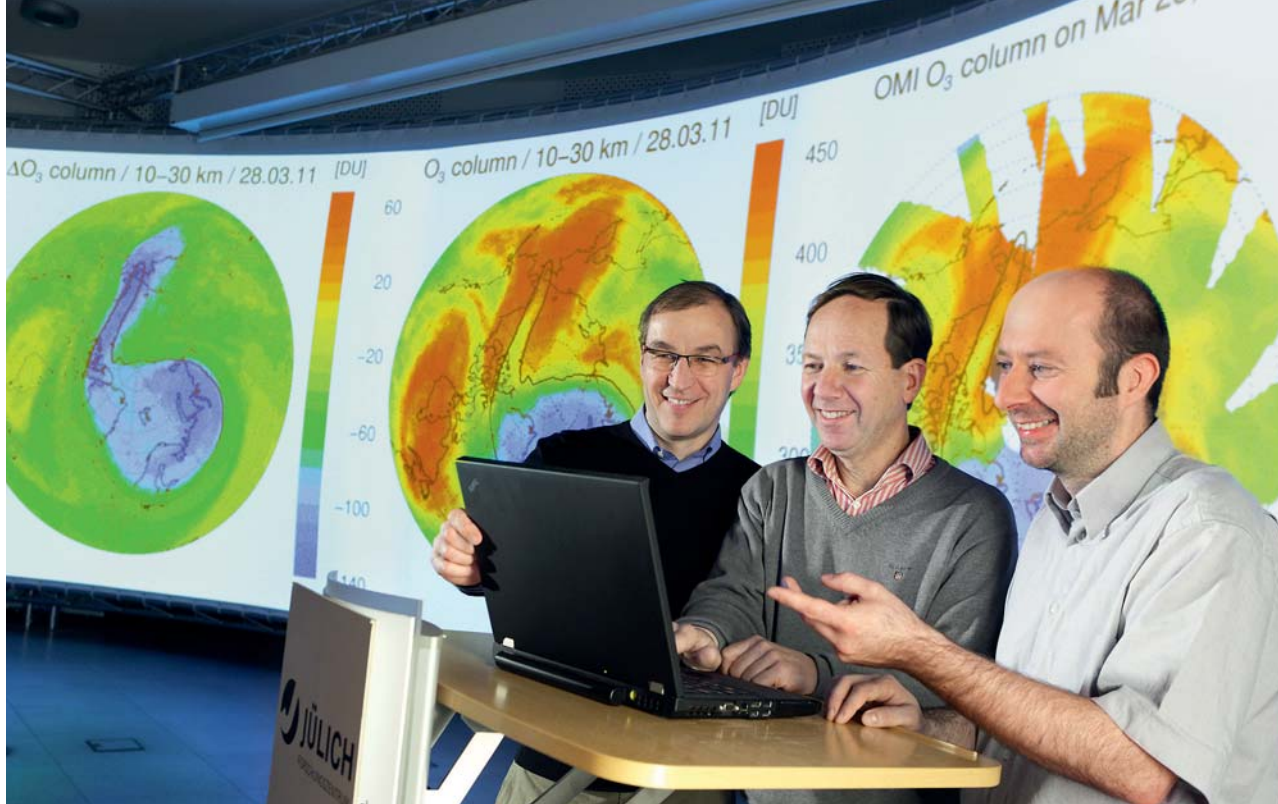
Wie bei der klassischen Wettervorhersage steht und fällt der Nutzen der chemischen Vorhersage mit ihrer Zuverlässigkeit. „Um genauere Prognosen und Abweichungen angeben zu können, wollen wir künftig sogenannte Ensemble-Simulationen durchführen. Dabei wird eine Prognose nicht nur einmal, sondern hundertmal durchgerechnet“, erläutert Elbern. Die Forscher verändern dafür leicht die Anfangsbedingungen oder setzen unterschiedliche Computermodelle ein. EURAD-IM ist zwar ein in Deutschland einzigartiges Projekt, aber es gibt ähnliche Modelle von anderen Forschergruppen, deren Vorhersagen durchaus voneinander abweichen.

CODE MIT ZEHN MILLIONEN ZEILEN

„Für solche Ensemble-Rechnungen benötigt man die Rechenkraft von extrem leistungsstarken Supercomputern wie JUGENE“, sagt Elbern. Wissenschaftler

des Jülicher Simulation Laboratory (SimLab) Climate Sciences unterstützen ihn dabei, die Ensemble-Simulationen auf JUGENE mit seinen 72 000 Prozessoren und einer Rechenleistung von 25 000 PCs zum Laufen zu bringen. „Es ist schon eine Herausforderung, Klimamodelle mit einem Programmcode von typischerweise zehn Millionen Zeilen fit für die Jülicher Supercomputer zu machen“, sagt Dr. Lars Hoffmann, Leiter des SimLabs Climate Sciences. SimLabs gibt es am Jülich Supercomputing Centre (JSC) auch für andere Bereiche wie etwa die Plasmaphysik oder die Biologie. Die Wissenschaftler dort verknüpfen ihre Kompetenz für das hochparallele Rechnen auf Supercomputern mit der jeweiligen fachspezifischen Forschung.

Auch der Jülicher Stratosphärenforscher Dr. Rolf Müller vom Institut für Energie- und Klimaforschung arbeitet eng zusammen mit seinen Kollegen am JSC. Er und sein Team nutzen vor allem JuRoPA – einen Rechner, den Ingenieure des JSC, des französischen Hardware-



Dr. Rolf Müller und Dr. Hendrik Elbern vom Institut für Energie- und Klimaforschung sowie Dr. Lars Hoffmann (v.l.n.r.), Leiter des SimLabs Climate Sciences am Jülich Supercomputing Centre.

Herstellers Bull und der Münchner Softwarefirma ParTec gemeinsam entwickelt haben. Die Forscher um Müller simulieren darauf unter anderem die Vorgänge, die zum Ozonloch über der Arktis führen. „Mit unserem Computermodell CLaMS können wir die Verhältnisse im Polarwirbel sehr detailliert beschreiben – und auch sehr hoch liegende Wolken berücksichtigen, die beim Ozonabbau eine wichtige Rolle spielen“, erläutert Müller.

OZONABBAU VORHERSAGEN

Zum Abgleich mit der Realität greifen die Wissenschaftler unter anderem auf die Daten des Projekts RECONCILE zurück. Dr. Marc von Hobe vom Forschungszentrum Jülich koordinierte Anfang 2010 diese internationale Messkampagne über der Arktis. Bei den Flügen erfassten die Forscher den Ozonabbau über der Nordhalbkugel während eines rekordkalten Winters mit besonders ausgeprägter Wolkenbildung in der Atmosphäre oberhalb einer Höhe von acht Kilometern. Rund ein Jahr später, im Frühling 2011, entstand das größte Ozonloch, das jemals über der Nordhalbkugel beobachtet wurde. „Diese extremen Situationen müssen wir möglichst gut verstehen und simulieren, um dann die künftige Entwicklung der

Ozonschicht möglichst wirklichkeitsnah und vertrauenswürdig vorausberechnen zu können“, so Müller. Das berühmte Paradoxon von Zeitreisen gilt allerdings auch hier: Sollte die Menschheit aufgrund des computergestützten Blicks in

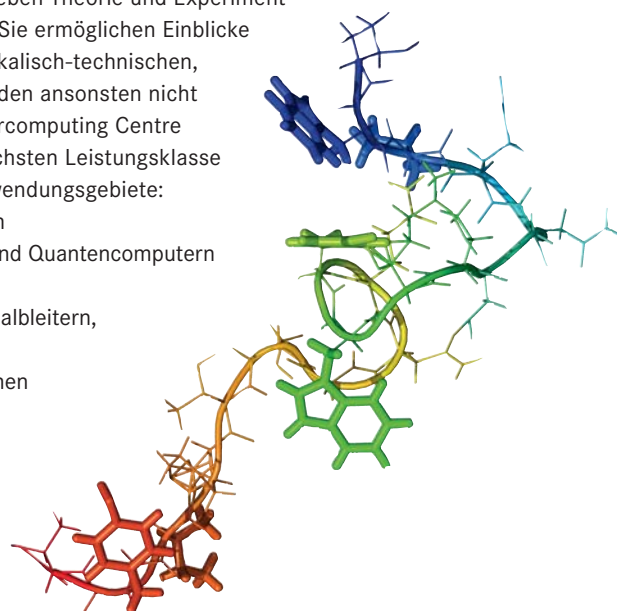
die Zukunft Maßnahmen in der Gegenwart ergreifen, könnte dies dazu führen, dass die prognostizierte Zukunft so nicht eintritt.

Frank Frick

Forschung auf Jülicher Supercomputern

Computersimulationen bilden neben Theorie und Experiment die dritte Säule der Forschung. Sie ermöglichen Einblicke und Erkenntnisse, die aus physikalisch-technischen, finanziellen und ethischen Gründen ansonsten nicht möglich wären. Das Jülich Supercomputing Centre betreibt Supercomputer der höchsten Leistungsklasse beispielsweise für folgende Anwendungsgebiete:

- Ausbreitung von Schadstoffen
- Design von Nanomaterialien und Quantencomputern
- Galaxien und Sternbildung
- Eigenschaften von Metallen, Halbleitern, Gläsern, Molekülen
- Starke Wechselwirkung zwischen Elementarteilchen
- Verhalten von Polymeren, Proteinen und biologischen Membranen
- Laser- und Plasmaphysik
- Flugzeug- und Automobilbau
- Fußgängerdynamik



Computer suchen ihre Nachfolger

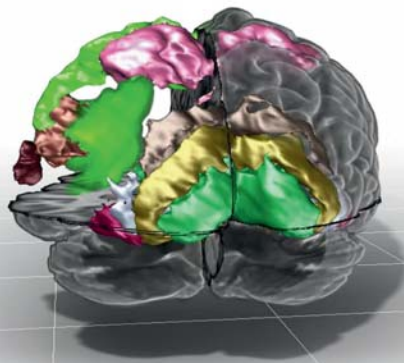
Supercomputer sind zu einem unersetzlichen Werkzeug für nahezu alle Gebiete der Wissenschaft geworden. Besonders erstaunlich: Die Simulationen darauf helfen auch, neuartige Technologien zu erforschen, die bei bestimmten Aufgaben einmal die Computer von heute verdrängen könnten.

Seitdem Computer Deep Blue 1997 den damals amtierenden Schachweltmeister Garri Kasparow unter den Blicken der Medienvertreter und der Weltöffentlichkeit spektakulär besiegt hat, scheint für viele die Sache klar: Elektronengehirne sind leistungsfähiger als menschliche Superhirne. Insofern mag es verblüffen, dass es Wissenschaftler gibt, die das menschliche Denkkorgan zum Vorbild für die Computer von übermorgen erklären. Einer von ihnen ist Prof. Markus Diesmann. Der Direktor am Jülicher Institut für Neurowissenschaften und Medizin erläutert: „Computer heutiger Technik sind zwar für Aufgaben, die mit schierer Rechenpower zu bewältigen sind, sehr gut geeignet. Doch wenn es darum geht, möglichst wenig Energie für die Lösung einer Aufgabe zu verbrauchen, oder um Wahrnehmung oder Lernfähigkeit, so ist das menschliche Gehirn unerreich.“

SPIRALE DER ERKENNTNIS

Das Team um Diesmann simuliert das menschliche Gehirn auf heutigen Supercomputern. Die Wissenschaftler hoffen, eine Spirale der Erkenntnis in Gang zu setzen: Mit Hilfe von Computersimulationen verstehen sie immer besser, nach welchen Prinzipien das Gehirn arbeitet. Diese können sie dann anwenden, um noch leistungsfähigere Computer und intelligenteren Roboter zu entwerfen.

Am Anfang einer solchen Simulation stehen mehrere mathematische Gleichungen. Sie beschreiben, wie eine Nervenzelle – Fachsprache: ein Neuron – funktioniert. Für die Signalübertragung ist



Vorbild Gehirn: Das menschliche Denkkorgan liefert wichtige Informationen für den Entwurf zukünftiger Computer. Das Bild entstand in Kooperation des Instituts für Neurowissenschaften und Medizin, INM-1, mit seiner Direktorin Prof. Katrin Amunts und Prof. Torsten Kuhlen von der Virtual Reality Group der RWTH Aachen im Rahmen von JARA (Jülich Aachen Research Alliance).

entscheidend, wie sich die elektrische Aktivität als Folge einer Erregung über die Nervenzelle ausbreitet. „Wenn man das sehr detailliert simulieren will, benötigt man für jedes einzelne Neuron viele verschiedene, miteinander gekoppelte Gleichungen“, sagt Diesmann. Doch in einigen Fällen geht es auch einfacher, so der Physiker und Hirnforscher weiter: „Man kann das einzelne Neuron auch als einen simplen elektrischen Schaltkreis mit nur zwei oder drei Gleichungen beschreiben: Das genügt oft, um vorherzusagen, ob eine Nervenzelle auf eine bestimmte Erregung hin ein elektrisches Signal weiterleitet oder nicht.“

Doch auch mit nur wenigen Gleichungen pro Nervenzelle benötigt man selbst für die Simulation kleiner Hirnregionen enorme Rechenkapazitäten. Bereits ein Kubikmillimeter unseres Gehirns enthält etwa hunderttausend Nervenzellen – von denen jede mit rund zehntausend anderen verbunden ist. Die Gesamtanzahl der Kontakte ist daher enorm. „Man muss für die Simulation dieses Kubikmillimeters eine Milliarde Kontaktstellen zwischen den Neuronen berücksichtigen“, so Diesmann. Noch komplizierter werden die Simulationen dadurch, dass entscheidende Größen schon innerhalb eines Kubikmillimeters Gehirn stark variieren: Beispielsweise gibt es in einem entsprechenden Bereich der Sehrinde sechs Schichten, in denen die Nervenzellen jeweils verschieden dicht gepackt und mit verschieden vielen anderen Zellen verbunden sind.

Diesmann ist Mitentwickler einer Software mit dem Namen NEST (www.nest-initiative.org), die weltweit von Hirnforschern eingesetzt und ständig ausgebaut wird. Wissenschaftler können damit einzelne Nervenzellen mathematisch beschreiben und Angaben zur Anatomie und zu den elektrischen Eigenschaften eingeben. Als Ergebnis erhalten sie eine Auswertung der Hirnaktivität. In Jülich arbeiten Diesmann und sein Team mit Experten des Jülich Supercomputing Centre (JSC) zusammen. Diese sorgen mit umfangreicher Unterstützung dafür, solche Simulationen überhaupt produktiv auf Superrechnern der höchsten Leistungsklasse durchzuführen. Die Ergebnisse fließen in das europäische Projekt

Prof. Markus Diesmann ist überzeugt, dass die Simulation des menschlichen Hirns helfen kann, energieeffiziente und leistungsfähige Computer der Zukunft zu bauen.

BrainScaleS (www.brainscales.org) mit ein, in dem nach dem Vorbild neuronaler Netzwerke neuartige Mikrochips – sogenannte Neuromorphic Hardware – entwickelt werden. Die Forscher um Diesmann konnten bereits Erfolge verzeichnen. In einer Simulation haben sie das Verhalten eines Kubikmillimeter großen Bereichs der Sehrinde nachgestellt – und zwar so genau, dass die ausgegebenen Aktivitäten mit experimentellen Ergebnissen übereinstimmen.

DER WEG ZUM QUANTENCOMPUTER

Mit Höchstleistungsrechnern suchen nicht nur Hirnforscher nach Modellen für deutlich leistungsstärkere Computer von übermorgen. Jülicher Wissenschaftler nehmen damit unter anderem auch neue Informationstechnologien unter die Lupe, die heute noch in den Kinderschuhen stecken. Sogenannte Quantencomputer

könnten bei bestimmten Aufgaben ein bislang unvorstellbares Tempo erreichen. Sie wären nämlich in der Lage, anders als herkömmliche Prozessoren mit jedem Schaltvorgang viele Rechenoperationen gleichzeitig durchzuführen. Der Grund dafür hängt mit den verwendeten Informationseinheiten zusammen. Ein klassisches Bit besitzt entweder den Wert 0 oder 1. Ein Quanten-Bit, kurz Qubit, kann dagegen aus vielen sich überlagernden Zuständen bestehen.

Im Labor existieren bislang nur erste Vorläufer von Quantencomputern

mit einer Kapazität von wenigen Qubits. Doch Prof. Kristel Michielsens vom Jülicher Supercomputing Centre gelang es, auf dem Superrechner JUGENE bereits ein deutlich größeres System zu simulieren. Sie berechnete ein – stark idealisiertes – Quantencomputersystem mit 42 Qubits, das ist Weltrekord. Möglich wurde er durch eine eigens entwickelte Simulationssoftware, speziell zugeschnitten auf Deutschlands schnellsten Rechner JUGENE. Sie sorgt dafür, dass die mehreren Tausend Prozessoren bei der Berechnung nahtlos zusammenarbeiten. „Mit dieser Software untersuchen wir jetzt auch andere quantenmechanische Systeme, zum Beispiel daraufhin, ob fundamentale Probleme auftreten und welche Möglichkeiten zur Fehlerkorrektur es gibt“, sagt Michielsens. Dabei haben die Jülicher Forscher bereits Erkenntnisse gewonnen, die für alle Entwickler realer Quantencomputer bedeutsam sind.

Frank Frick

Prof. Kristel Michielsens vor dem Jülicher Supercomputer JUGENE, auf dem sie eine mögliche Informationstechnologie von übermorgen, den Quantencomputer, simuliert.



Supercomputer energiesparend kühlen

Es klingt zunächst paradox: Man nehme rund 40 Grad Celsius warmes Wasser und kühle damit Supercomputer weit effizienter als beispielsweise mit 16 Grad kaltem Wasser. Und doch ist dieses Rezept erfolgversprechend, weil die

Wärme des rücklaufenden Wassers dann einfach an die Luft abgegeben werden kann. Damit entfällt der technische und energetische Aufwand zum Herunterkühlen auf 16 Grad. Das Jülicher Supercomputing Centre (JSC) will das Verfahren

gründlich an einem Cluster-Rechner testen. Bewährt es sich, soll es bei künftigen Supercomputer-Generationen im JSC eingesetzt werden.

Prof. Henning Kagermann im Gespräch

„Deutschland steht im Vergleich gut da“

Der Präsident der Deutschen Akademie der Technikwissenschaften ist überzeugt, dass hierzulande viel getan wird, um Schlüsseltechnologien voranzubringen.

Frage: Wie definieren Sie den Begriff „Schlüsseltechnologien“?

Kagermann: Ich verstehe darunter Technologien, die einen großen Einfluss auf die Handlungsbereiche Mobilität, Energie, Gesundheit, Kommunikation und Sicherheit haben. Das sind Handlungsbereiche, die man gesellschaftlich vorgegeben hat. Schlüsseltechnologien kommen in mehreren dieser Felder zum Tragen und haben sozusagen einen besonders großen Hebel.

Frage: Sie sprechen von gesellschaftlich vorgegebenen Handlungsbereichen. Beziehen Sie sich dabei auf die Hightech-Strategie, in der die Bundesregierung wichtige Zukunftsbereiche festgelegt hat, um die Innovationsfähigkeit des Standorts Deutschland zu fördern?

Kagermann: Auch. Aber die Handlungsbereiche gelten weltweit. Wir haben bei acatech andere Länder daraufhin abgeklopft und festgestellt, dass diese Handlungsfelder überall weitgehend übereinstimmen. Das ist auch nicht erstaunlich, denn alle Länder werden durch die gleichen globalen Einflüsse getrieben: die wachsende Weltbevölkerung, die Knappheit der Ressourcen, den Klimawandel und die demografische Entwicklung.

Frage: Was ist zu tun, um die Entwicklung der Schlüsseltechnologien in Deutschland voranzubringen?

Kagermann: Ich würde sagen, wir tun schon eine ganze Menge. Wir stehen im europäischen und internationalen Vergleich gut da, unter anderem durch die Hightech-Strategie der Bundesregierung. Allerdings gibt es Schwächen – etwa bei den Fachkräften, an denen



es uns in Zukunft immer schmerzlicher mangeln wird, und in der Innovationsfinanzierung.

Frage: In Jülich vertritt man die Auffassung, insbesondere an den Schnittstellen der klassischen wissenschaftlichen Disziplinen entstehen neue Schlüsseltechnologien. Ihre Meinung dazu?

Kagermann: Ich kann das nur bestätigen. Heute reden manche sogar von der Konvergenz von Technologien, also davon, dass etwa Bio-, Nano- und Informationstechnologien sowie möglicherweise die Hirnforschung zunehmend zusammenwachsen. Informations- und Kommunikationstechnologien werden zunehmend auch klassische Technologiebereiche prägen, etwa die Fabrik der Zukunft oder die intelligenten Stromnetze im Zeitalter der Energiewende.

Frage: Braucht man Grundlagenforschung, um Schlüsseltechnologien zu entwickeln?

Kagermann: Ja. Wir brauchen unbedingt eine starke Grundlagenforschung. Allerdings müssen wir auch versuchen, unsere Investitionen in die Grundlagenforschung in marktgängige Produkte und Dienstleistungen umzusetzen. Wir in Deutschland wollen schließlich nicht nur für das Ausland forschen. Insofern müssen wir auch angewandte Forschung betreiben und die ganze Innovationskette im Auge behalten.

Frage: Wie kann man erkennen, ob eine Technologie das Potenzial hat, eine Schlüsseltechnologie zu werden?

Kagermann: Einerseits gibt es natürlich Prozesse und Instrumente, mit denen man Technologien systematisch analysieren und ihre künftige Bedeutung einschätzen kann. Andererseits ist das wie mit Aktien: Wenn man deren künftige Entwicklung sicher voraussagen könnte, wäre man reich. Stattdessen besteht immer das Risiko, dass man sich irrt.

Interview Frank Frick

Zur Person

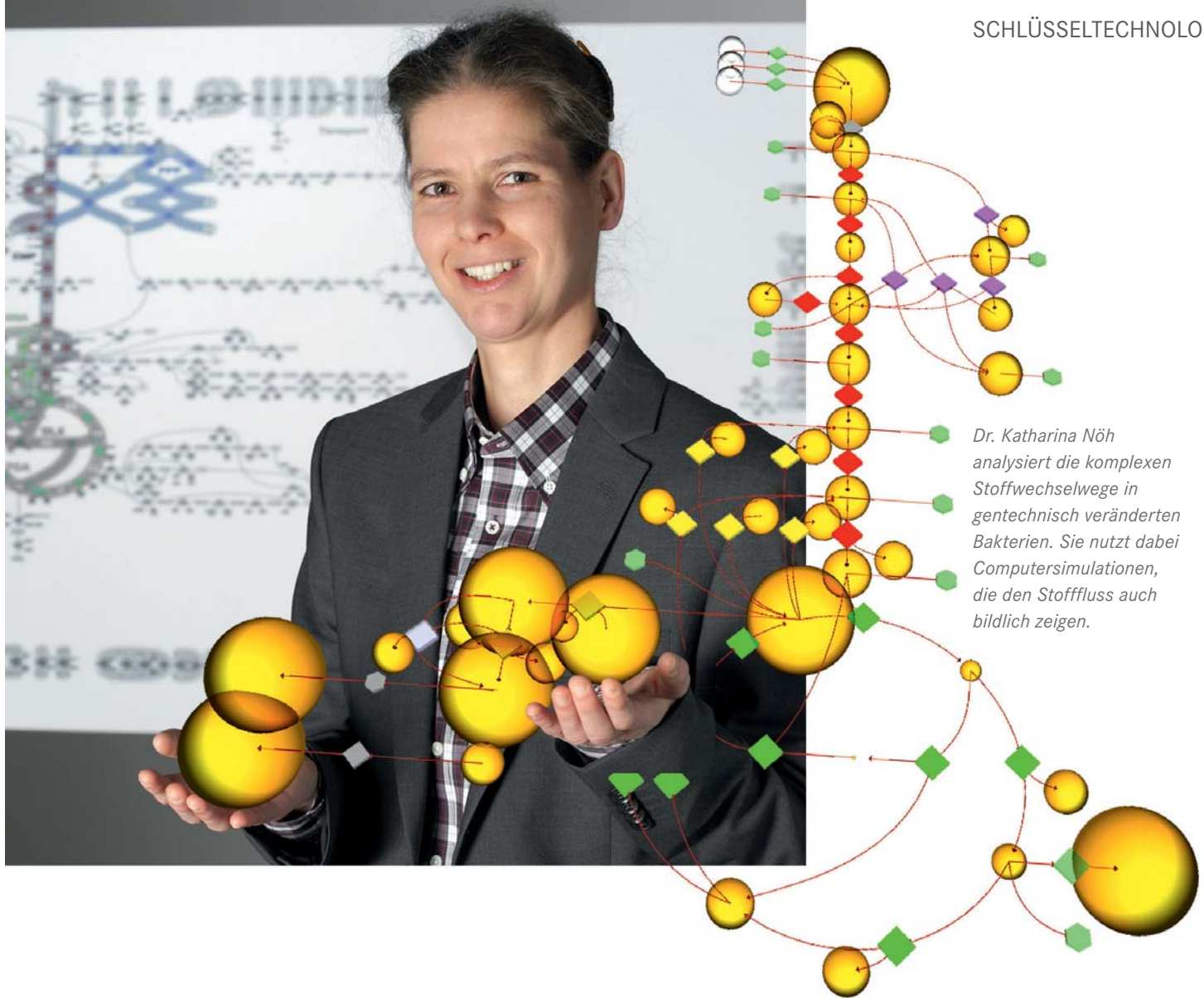
Der Physiker Prof. Henning Kagermann ist Präsident der Deutschen Akademie der Technikwissenschaften acatech. Die nationale Wissenschaftsakademie vertritt die Technikwissenschaften im In- und Ausland und berät Politik und Gesellschaft in technikbezogenen Zukunftsfragen. Zuvor war Kagermann viele Jahre Vorstandsvorsitzender der SAP AG.



*Sie haben eine besonders effiziente Methode entwickelt, um ertragreiche Bakterien aus den gezüchteten Kulturen herauszufischen:
Dr. Lothar Eggeling und Dr. Julia Frunzke.*

Leuchtend produktive Bakterien

Immer mehr medizinische Wirkstoffe, Nahrungsmittel und Wertstoffe werden von Enzymen oder mikrobiellen Zellen hergestellt. Die Biotechnologie-Branche verzeichnet heute weltweit einen Umsatz von rund 50 Milliarden Euro. Jülicher Forscher arbeiten daran, weiteren Schwung in diesen boomenden Industriezweig zu bringen. Ihr neuester Coup: Sie veranlassen einzelne – besonders interessante – Bakterienzellen zu leuchten, so dass sie sich aus der Masse von Tausenden anderen hervorheben.



Dr. Katharina Nöh analysiert die komplexen Stoffwechselwege in gentechnisch veränderten Bakterien. Sie nutzt dabei Computersimulationen, die den Stofffluss auch bildlich zeigen.

In nur 30 Minuten kann Biotechnologie Stephan Binder, der am Jülicher Institut für Bio- und Geowissenschaften für seine Doktorarbeit forscht, aus einer wild gemischten Truppe von rund 18 Millionen Bakterien genau diejenigen einzeln heraussortieren, die besonders viel Lysin – ein Eiweißbaustein – herstellen. Üblicherweise dauert solch ein Prozess, der von Fachleuten Screening genannt wird, mehrere Wochen. „Herkömmliche Screenings sind richtige Materialschlachten“, berichtet Binders Kollegin Dr. Julia Frunzke: „Auf Hunderten von Petrischalen werden Bakterienkulturen angesetzt und bebrütet, ohne dass man weiß, welche davon überhaupt Lysin produzieren.“ Von den 18 Millionen Bakterienzellen der Art *Corynebacterium glutamicum* bleiben typischerweise nicht mehr als hundert besonders produktive

übrig. Nur diese werden anschließend weiterkultiviert, um ihre genetische Ausstattung und biochemischen Fähigkeiten genauer zu analysieren. Mit der neuen Methode wird effektiv vorsortiert – frei nach dem Motto „die guten ins Töpfchen, die schlechten ins Kröpfchen“.

BAKTERIEN IM DIENST DER INDUSTRIE

Ursprünglich Bodenbewohner, produzieren gentechnisch veränderte *Corynebakterien* im Dienste der Industrie seit Jahren Zusatzstoffe wie die Aminosäure Lysin. Lysin kommt beispielsweise in Infusionslösungen für Schwerstkranke zum Einsatz oder dient als Futtermittelergänzung. Dabei hilft es Rindern, Getreideschrot besser zu verwerten. Der Jülicher Biotechnologe Dr. Lothar Eggeling ist einer der führenden *Coryne-Spezialisten* weltweit. Angesichts des

globalen Bedarfs von rund einer Million Tonnen und einem Umsatz von zwei Milliarden US-Dollar pro Jahr lohnen sich ihm zufolge Verbesserungen der Lysin-Herstellung schnell: „Finden wir einen Bakterienstamm, der nur um ein oder zwei Prozent effektiver ist, so entspricht das 20 bis 40 Millionen Dollar mehr Umsatz. Und es ist natürlich nicht nur profitabel, einen neuen Stamm zu finden, sondern auch ressourcenschonend.“

Corynebacterium glutamicum dient den Jülicher Wissenschaftlern als Modellorganismus für ihre neue Screening-Methode. Die Zelle selbst verfügt dagegen über ein eigenes hochsensibles und spezifisches Kontroll- und Regelsystem für Lysin und viele weitere Stoffwechselprodukte. Ist zu viel Lysin in der Zelle, wird dies von einem speziellen „Wächter“-Protein erkannt, das auch

gleich für Abhilfe sorgt: Es startet ein genetisches Programm, das den Export des Lysins aus der Zelle verstärkt. Eine Vielzahl solcher spezialisierter „Wächter“-Proteine – im Fachjargon Transkriptionsregulatoren genannt – schützen die Zelle vor überschüssigen Stoffwechselprodukten, indem sie dafür sorgen, dass diese gezielt aus der Zelle entfernt werden.

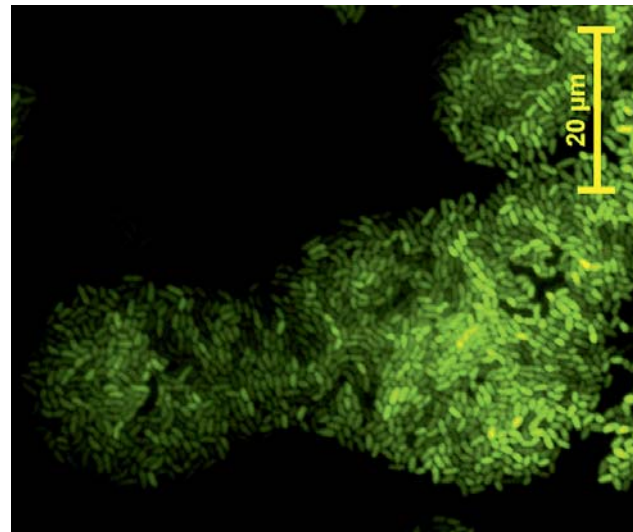
„Bei unserer Methode nutzen wir den Werkzeugkasten der Natur“, sagt Julia Frunzke. Die Forscher schmuggeln ein zusätzliches ringförmiges Stück Erbgut in die Bakterienzelle. Es besteht aus zwei Teilen. Teil eins ist die Erkennungsregion für das „Wächter“-Protein. Teil zwei ist allerdings nicht das ursprüngliche Programm zum Export von Lysin, sondern der Befehl, einen fluoreszierenden natürlichen Farbstoff zu produzieren. „Wir haben somit einen hochspezifischen Biosensor, der in keiner Weise den Stoffwechsel der Zelle stört. Denn die normale genetische Ausstattung, also auch die Wächter- und Exportfunktion, bleibt von diesem Eingriff unberührt“, erläutert Lothar Eggeling.

PATENTE GESICHERT

Nachdem die Forscher die kleine Zusatzausstattung in die Zelle eingebracht haben, sorgen sie durch UV-Bestrahlung dafür, dass möglichst viele genetisch unterschiedliche Mutanten entstehen. Bakterien, die anschließend viel Lysin produzieren, leuchten stärker als solche, die wenig Lysin herstellen. Eggeling und seinem Team gelang es auf diese Weise, einige sehr vielversprechende neue Bakterienstämme zu finden, die sie sogleich patentieren ließen.

Auch das grundlegende Prinzip ist längst patentiert. Denn mit Hilfe der

Bakterien unter dem Fluoreszenzmikroskop. Dank einer genetischen Zusatzausstattung verrät ihre Leuchtkraft, wie produktiv sie sind.



neuen Screening-Methode lässt sich für jedes bekannte „Wächter“-Protein eines beliebigen Bakteriums ein Biosensor konstruieren. Viel Potenzial steckt auch im Bakterium *Escherichia coli*, das in der Industrie häufig eingesetzt wird. „Neben zahlreichen Aminosäuren wie Lysin, Valin oder Methionin könnten wir damit auch pharmazeutisch interessante Moleküle aufspüren wie etwa Taxane, die in Malaria- oder Krebsmedikamenten zum Einsatz kommen“, sagt Eggeling, der das Jülicher Verfahren erfolgreich an dieser von Darmbakterien abstammenden Art getestet hat.

Noch aus einem anderen Grund hat die Industrie Interesse angemeldet. „Großes Potenzial bietet die neue Methode außerdem, weil man mit Hilfe des Sensors rasch und im laufenden Betrieb ermitteln kann, wie viele der Hochleistungsbakterien in den riesigen Fermentern der Industrie wirklich das gewünschte Produkt herstellen – und

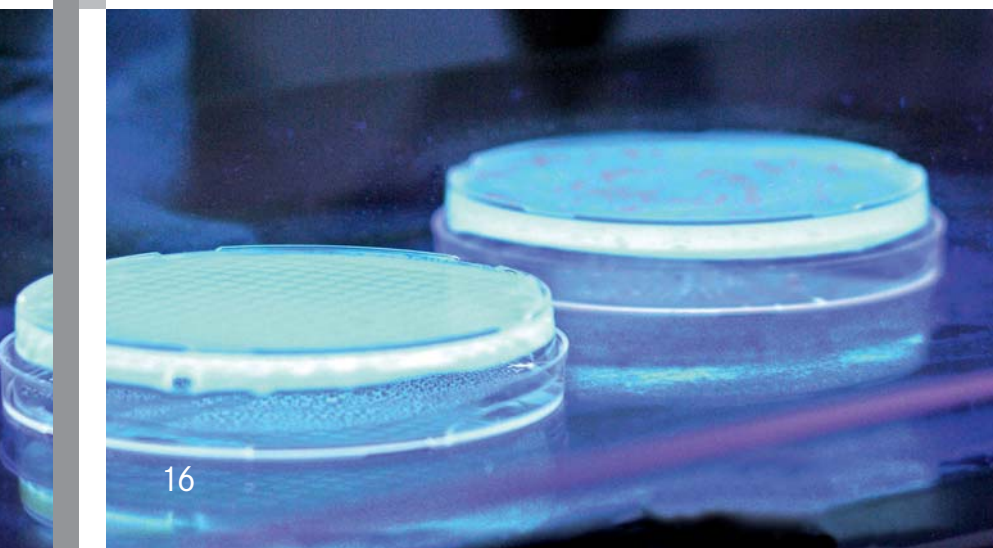
wie viele stattdessen auf der faulen Haut liegen“, erläutert Frunzke.

UMLEITUNG FÜR LEUCHTENDE ZELLEN

Doktorand Stephan Binder ist derweil froh, dass er die fluoreszierenden Zellen nicht per Mikroskop und Pipette von Hand aussortieren muss. Ein handelsübliches Durchflusszytometer übernimmt diese Aufgabe mit enormer Geschwindigkeit und Präzision. Normalerweise wird es in der Blutanalytik eingesetzt. Die in einer Lösung befindlichen Zellen werden durch eine Kapillare gesaugt und passieren anschließend einzeln einen Laserstrahl. Bis zu 30 000 Zellen pro Sekunde brausen an der Lichtquelle vorbei. Das Gerät erkennt die fluoreszierenden Zellen und leitet sie auf eine Petrischale um. Die Petrischale rückt nach jedem „Treffer“ um wenige Zentimeter weiter, so dass jede einzelne Zelle eine eigene Kolonie von Nachkommen bilden kann. Denn für die anschließenden Untersuchungen ist mehr Zellmaterial notwendig.

Wie produktiv ein vielversprechender neuer Bakterienstamm wirklich ist, testen Prof. Marco Oldiges und sein Team am Jülicher Institut für Bio- und Geowissenschaften. Zur Analyse kommen die Stämme in einen sogenannten Bioreaktor. „Dort haben sie sehr viel bessere Lebensbedingungen als in einer

In solchen Petrischalen werden Bakterienstämme gezüchtet.



Petrischale oder einem kleinen Schüttelkolben“, erläutert Oldiges. Solche industriennahen Bedingungen erlauben zudem eine bessere Kontrolle: Die Jülicher Forscher bilanzieren exakt, wie viel Glukose – also Zucker – in den Prozess hineingegeben wurde und wie viel Lysin als Ertrag herauskommt. „Perfekt wäre es, wenn wir die Glukose mit 100 Prozent des maximalen Ertrags in Lysin umwandeln könnten – aber so einen Idealfall haben wir in der Realität leider noch nicht gesehen“, schmunzelt Oldiges. Um genau zu verstehen, wie der Zucker tatsächlich im Stoffwechsel umgesetzt wird, markieren die Forscher ausgewählte Kohlenstoffatome der Glukosemoleküle mit einem minimal schwereren Kohlenstoffisotop, das in der Natur nur zu einem Prozent vorkommt. Nach einem präzisen Zeitprotokoll nehmen sie Proben aus dem Bioreaktor und untersuchen, wann und in welcher Häufigkeit ihr markierter Kohlenstoff in bestimmten Stoffwechselprodukten auftaucht.

VIELFÄLTIG VERZWEIGT

Dabei muss man wissen, dass die Umwandlung des Zuckers über verschiedene Zwischenprodukte – im Fachjargon Metaboliten genannt – bis hin zum Lysin niemals gradlinig verläuft. Denn der Stoffwechsel eines lebenden Organismus ist in vielfältiger Weise verzweigt: Viele Stoffe sind nicht nur an einer, sondern an mehreren Reaktionen beteiligt. Bei einigen Reaktionen entstehen neben den Hauptprodukten noch weitere Stoffe. Diese Nebenprodukte können sich dann negativ auf die Lysinproduktion auswirken und schmälern den Ertrag. Im übertragenen Sinn haben es die Forscher also mit einem Netz aus Rennstrecken, Einbahnstraßen, Kreisverkehren, Kriechspuren, Baustellen und Sackgassen zu tun. Wobei die jeweiligen Verkehrsteilnehmer je nach Ausgangspunkt, Regelwerk und Wegstrecke willig aufeinander reagieren und sich gegenseitig beschleunigen oder sich einander blockieren und aufstauen.

„Das Ganze passiert nicht nur auf einer Ebene, wie beim Straßenverkehr, sondern auf mehreren Ebenen, die sich gegenseitig in vielfacher Weise beeinflussen – und bedauerlicherweise verstehen wir die Straßenverkehrsordnung



Prof. Marco Oldiges untersucht vielversprechende Bakterienstämme unter industriennahen Bedingungen.

der Bakterien erst ansatzweise“, sagt Marco Oldiges. Um den Überblick zu behalten, übertragen die Forscher ihre Ergebnisse in ausgeklügelte Computermodelle. „Mit ihrer Hilfe erkennen und verstehen wir, wo im Stoffwechsel es beispielsweise zu einem Engpass kommt oder ob ein Nährstoff fehlt“, sagt Mathematikerin Dr. Katharina Nöh, Spezialistin für die Analyse von Stoffflüssen. Der Vorteil: Ohne lange und aufwendige Versuchsreihen im Labor lässt sich rein virtuell an einzelnen Stellschrauben des Stoffwechsels drehen und das Ergebnis berechnen.

Ob die Rechnung stimmt, zeigt sich spätestens am lebenden Objekt. Durch gezieltes Ein- oder Ausschalten von Genen beschleunigen oder hemmen Oldiges und Nöh die zuvor berechneten Stoffwechselwege. Erst kürzlich schafften sie mit dieser neuen Methode einen wichtigen Erfolg: Es gelang ihnen, *Corynebacterium glutamicum* zu einer vermehrten Produktion der Aminosäure Valin anzuregen – einem elementaren Baustein von antiviralen Medikamenten gegen Herpes oder HIV.

Brigitte Stahl-Busse

„Wichtig: Technologien, die der Nachhaltigkeit dienen“

Das Bayer-Vorstandsmitglied erläutert seine Sicht auf die Schlüsseltechnologien und fordert die Deutschen zu mehr Offenheit gegenüber Neuerungen auf.

Frage: Welche Technologien fallen Ihnen spontan ein, wenn Sie den Begriff „Schlüsseltechnologien“ hören? Bitte nennen Sie höchstens drei.

Plischke: In erster Linie die Biotechnologie und die Nanotechnologie. Daneben spielen für mich allgemein Technologien, die der Nachhaltigkeit dienen, eine besondere Rolle. Zum Beispiel neue Prozesstechnologien, die es ermöglichen, mit Energie und Ressourcen effizienter umzugehen.

Frage: Wie würden Sie den Begriff „Schlüsseltechnologien“ definieren?

Plischke: Schlüsseltechnologien sind für uns bei Bayer solche Technologien, mit denen wir unsere Mission „Science For A Better Life“ umsetzen können. Also Technologien für innovative Produkte, mit denen wir den Menschen nützen – egal ob im Bereich Gesundheit, Ernährung oder hochwertige Materialien. Wir wollen mit unseren Innovationen einen



Beitrag zur nachhaltigen Entwicklung der Gesellschaft leisten.

Frage: Was ist zu tun, um die Entwicklung von Schlüsseltechnologien in Deutschland voranzubringen?

Plischke: Mehr Offenheit gegenüber Neuerungen! Ich sehe beispielsweise mit Sorge auf die immer noch bestehende Ablehnung der Grünen Biotechnologie durch große Teile der deutschen Bevölkerung. Ohne neue Saatgut-Varianten, die für Ertragssteigerungen sorgen und auf Methoden der modernen Biotechnologie basieren, werden wir die wachsende Weltbevölkerung künftig nicht ernähren und auch keine solide Basis für nachwachsende Rohstoffe schaffen können. Gerade auch das neue „Bio-economy Science Center“, an dem das

Forschungszentrum Jülich wesentlich beteiligt ist, soll hier entscheidende Beiträge liefern, um gesellschaftliche Herausforderungen wie die Ernährung der Weltbevölkerung, die Rohstoff- und Energieproblematik und die Folgen des Klimawandels zu bewältigen.

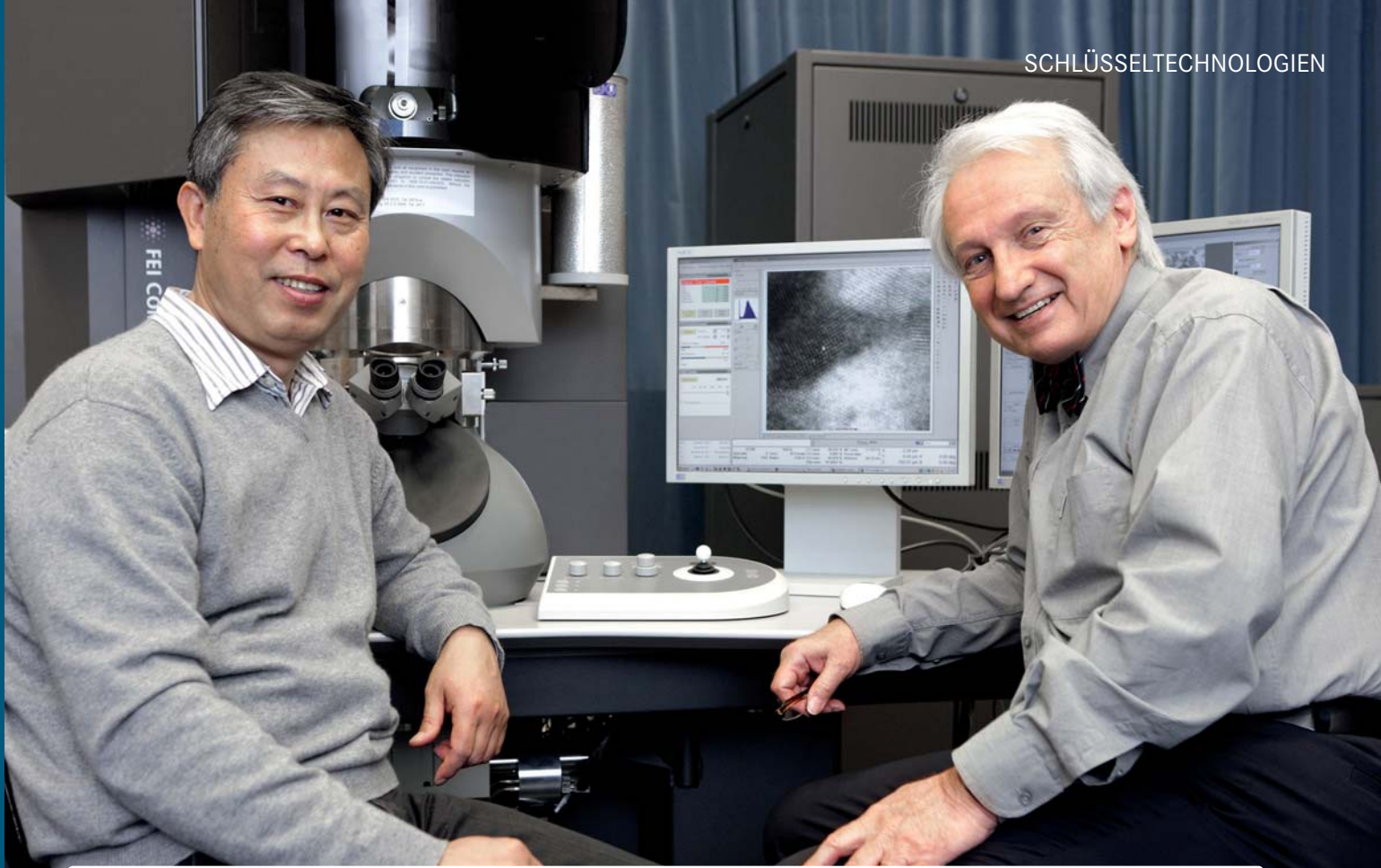
Frage: Wie wichtig ist es für ein Unternehmen wie Bayer, dass die Forschung an Schlüsseltechnologien öffentlich gefördert wird?

Plischke: Für Bayer spielen verschiedene Arten von Forschungsförderung eine große Rolle: Neben einer inhaltlichen Unterstützung in puncto Technologieakzeptanz durch Politik und Gesellschaft ist uns die themenbezogene und anwendungsnahe Projektförderung sehr wichtig. Gerade in Konsortien aus Universitäten, öffentlichen Forschungseinrichtungen, kleinen und mittleren Unternehmen und der Industrie können Grundlagen für die breite Anwendung von Schlüsseltechnologien besonders effizient geschaffen werden. Darüber hinaus könnte aber eine allgemeine steuerliche Forschungsförderung dem Innovationsstandort Deutschland einen Extraschub verleihen: Die Einnahmen, auf die der Fiskus dabei verzichtet, wären gut angelegt. Sie fließen nachweislich in zusätzliche Forschung, stärken Innovation und Wachstum – und schaffen schließlich Arbeitsplätze und höhere Steuereinnahmen.

Interview Frank Frick

Zur Person

Prof. Dr. Wolfgang Plischke gehört seit dem 1. März 2006 dem Vorstand der Bayer AG an. Der Biologe ist im internationalen Konzern verantwortlich für Innovation, Technologie und Umwelt und betreut die Region Asien sowie den pazifischen Raum.



Blick in die Quantenwelt

Die atomare Welt entzieht sich der Anschauung – unvorstellbar klein sind ihre Dimensionen. Dennoch bestimmen feinste Details der Lage und Bewegung der Atome die Eigenschaften der Materialien. Die Jülicher Pioniere der Elektronenmikroskopie, Chunlin Jia und Knut Urban (Bild), haben eine Technik entwickelt, mit der man winzige pikometergroße Verschiebungen der Atome sehen und mit einzigartiger Präzision messen kann. Solche nur etwa ein milliardstel Millimeter großen Lageveränderungen sind zum Beispiel bedeutsam für neuartige ferroelektrische digitale Datenspeicher.

Die moderne Materialwissenschaft hat sich in den vergangenen Jahren den atomaren Bereich erschlossen. Die Plattform dafür bieten Elektronenmikroskope mit aberrationskorrigierter Optik. Doch selbst die allerbeste Optik hilft in der Welt der Atome allein nicht weiter. Denn dort regiert die Quantenphysik, und der Begriff des Bildes verliert seine aus der Alltagswelt stammende Bedeutung.

Dies hat recht verwunderlich anmutende Konsequenzen. Beispielsweise hängt die Abbildung einer Struktur von der Dicke des Präparates ab. Im Bild erscheinen „Atome“ an Stellen, an denen in Wirklichkeit gar keine sind – oder umgekehrt. Man müsste also die Dicke des Präparates genau kennen. Es gibt aber keinen Meterstab, mit dem man sie im Atomaren

messen könnte. Außerdem sind die Atome für Elektronen weitgehend durchsichtig. Ihr Kontrast ist ausgesprochen schwach, und er wird, anders als bei einem Lichtmikroskop oder Fotoapparat, immer schlechter, je besser die Linse fokussiert ist. Um überhaupt etwas sehen zu können, muss man außer Fokus arbeiten, also gezielt „unscharf“ abbilden. Das Ergebnis hängt dann empfindlich vom Fokuswert ab, der ist aber in atomaren Dimensionen nicht direkt zugänglich. Dazu kommt, dass ein verkipptes Präparat in der Projektion ein verzerrtes Bild liefert. Das Ausmaß dieser Verzerrung hängt allerdings von der jeweiligen Atomart ab. Wenn mehrere Atomarten nebeneinander vorkommen, herrschen daher sehr komplexe Verhältnisse. Schließlich müsste man, um mit den

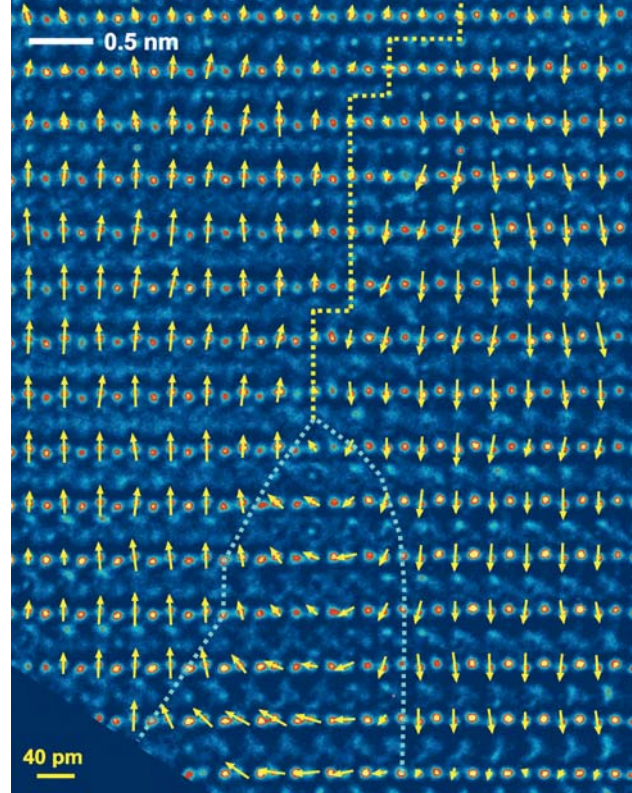
Bildern überhaupt etwas anfangen zu können, das Präparat auf wenige hundertstel Grad genau justieren, obwohl es kein Instrument gibt, mit dem man dies im atomaren Bereich technisch realisieren könnte.

Chunlin Jia und Knut Urban arbeiten am Peter Grünberg Institut des Forschungszentrums Jülich und am Ernst Ruska-Centrum. Niemand hat genauer messen können, seit sie vor zehn Jahren zum ersten Mal für ihre Arbeiten ein aberrations-korrigiertes Elektronenmikroskop einsetzten. „Die Gesetze der Quantenphysik entziehen sich unserer Intuition. Doch das Verwunderliche, ja scheinbar Absurde, wird zu Information und erlaubt uns Messungen von ungeahnter Präzision, wenn wir zur Analyse der Bilder einen Computer einsetzen, der die Gesetze der Quantenphysik ‚verstehet‘“, erklärt Urban.

INFORMATION „RÜCKWÄRTS“ ERSCHLIESSEN

Schickt man im Elektronenmikroskop eine Elektronenwelle durch ein Objekt, dann wird diese modifiziert. Diese objekt-spezifische Veränderung enthält nicht nur die Information über das Objekt, sondern auch über die Abbildungsbedingungen. Um diese Informationen aus den Bildern „rückwärts“ zu erschließen, konstruiert man am Computer ein – zunächst rein intuitives – atomares Modell. Der Vergleich mit den realen Bildern gibt Hinweise darauf, wie es zu verbessern ist. Dann wird mit dem schrittweise modifizierten Modell die Rechnung so lange wiederholt, bis Berechnung und Beobachtung übereinstimmen. Ein nicht zu unterschätzender Aufwand, da nicht nur eine große Zahl von Atomen koordiniert, sondern auch die Werte der optischen Größen, der Dicke und Orientierung des Präparates so variiert werden müssen, dass ein konsistenter Datensatz entsteht.

Dass die Aufgabe trotzdem lösbar ist, zeigt eine von Jia und Urban zusammen mit Kollegen vom Max-Planck-Institut für Mikrostrukturphysik im Fachmagazin „Science“ publizierte Arbeit. Darin konnten sie nicht nur erstmals die Bildung von



Elektronenmikroskopische Aufnahme des ferroelektrischen Materials Blei-Zirkonat-Titanat ($\text{PbZr}_{0,2}\text{Ti}_{0,8}\text{O}_3$). Die Pfeile zeigen die Richtung der elektrischen Dipole an.

sogenannten Flussabschluss-Domänen in Ferroelektrika nachweisen, sondern auch zeigen, dass sich die ferroelektrischen Dipole auf atomarer Ebene in solchen Materialien kontinuierlich drehen können. Die Existenz solcher Abschluss-Domänen war über bald ein Jahrzehnt theoretisch vorausgesagt, aber experimentell nie gefunden worden. Ihre quasikontinuierliche Rotation ist eine Voraussetzung für die Realisierbarkeit nicht-flüchtiger ferroelektrischer Datenspeicher.

PIKOMETERGENAUE MESSUNG

Ferroelektrika sind Oxidmaterialien, in deren kristalliner Einheitszelle die Atome so angeordnet sind, dass ihre elektrischen Ladungszentren geometrisch nicht zusammenfallen. In dem von Jia, Urban und Kollegen benutzten Blei-Zirkonat-Titanat ($\text{PbZr}_{0,2}\text{Ti}_{0,8}\text{O}_3$) bildet die negative Ladung der Sauerstoffatome mit der positiven der Metallatome einen permanenten elektrischen Dipol. Die Jülicher Forscher konnten durch die pikometergenaue Messung die Stärke und Richtung dieser Dipole ermitteln. Das überraschende Ergebnis: Trotz ihrer im Vergleich zu magnetischen Dipolen viel größeren Starrheit lassen sich die elektrischen Dipole auf engstem Raum drehen. Dies erlaubt die Ausbildung von nur wenigen Einheitszellen großen dreiecksförmigen Domänen. Diese waren der Forschung zuvor entgangen, weil sie so außerordentlich klein sind.

Gleichzeitig war das eine aufregende Nachricht für Forscher, die an ferroelektrischen Vortex- oder „Wirbel“-Datenspeichern arbeiten. Denn vier solcher Dreiecksdomänen bilden zusammen einen nanometergroßen „Elementarwirbel“, in dem sich das elektrische Feld um 360 Grad dreht. Und auf der Basis dieses Drehsinns, mit oder gegen den Uhrzeigersinn, lässt sich auf kleinstem Raum ein digitales Bit realisieren.

Die Redaktion dankt Prof. Knut Urban für seinen Beitrag.

Zu Knut Urban

Der Physiker Prof. Knut Urban leitete von 1987 bis 2011 das Jülicher Institut für Mikrostrukturforschung am heutigen Peter Grünberg Institut sowie einen Lehrstuhl für Experimentalphysik an der RWTH Aachen. Von 2004 bis 2006 war er Präsident der Deutschen Physikalischen Gesellschaft (DPG). Urban wurde unter anderem mit dem Wolf-Preis ausgezeichnet, einem der renommiertesten Preise der Physik, und ist erster Inhaber der neuen JARA-Seniorprofessur.

Zu Chunlin Jia

Der Materialforscher Prof. Chunlin Jia wurde für das 1000-Talente-Programm Chinas ausgewählt und an die Jiatong-Universität in Xi'an berufen. Die Initiative holt weltweit tätige Spitzenforscher zurück ins Land, um den aufstrebenden Forschungssektor auszubauen und zu unterstützen. Jia verbringt seine Arbeitszeit auf gleichen Teilen in Jülich und in Xi'an. Aktuell errichtet die Jiatong-Universität dort ein Gebäude für sein Institut.

Dr. Joseph Pankert im Gespräch

„Es muss eine Kultur geben, in der Neues entsteht“

Der Philips-Manager über die Rollenverteilung von Unternehmen, Forschungseinrichtungen und Universitäten bei der Entwicklung von Schlüsseltechnologien.

Frage: Welche Technologien fallen Ihnen spontan ein, wenn Sie den Begriff „Schlüsseltechnologie“ hören? Bitte nennen Sie höchstens drei.

Pankert: Zunächst fallen mir die optischen Technologien ein, weil ich damit beruflich zu tun habe. Ansonsten würde ich noch die Halbleitertechnologie nennen, die für fast alle Industriebereiche und für unsere Gesellschaft enorm bedeutsam ist, und die Gentechnik.

Frage: Kann man eine Schlüsseltechnologie einfach definieren als eine Technologie, die unser Leben entscheidend prägt oder prägen wird?

Pankert: Im Prinzip ja, aber die Technologie selbst ist nicht immer sichtbar. So ist etwa das Leben der jüngeren Generation geprägt durch Facebook. Soziale Netzwerke sind aber deshalb keine Schlüsseltechnologie. Sie existieren vielmehr nur aufgrund der Errungenschaften der Kommunikations- und Informationstechnologie. Auf dieser Ebene kann man dann von einer Schlüsseltechnologie sprechen.

Frage: Inwiefern tragen Schlüsseltechnologien zur Lösung gesellschaftlicher Probleme bei?

Pankert: Ich würde das andersherum aufzäumen. Wenn eine Technologie nichts zur Lösung gesellschaftlicher Probleme beiträgt, dann ist sie eben keine Schlüsseltechnologie, sondern eine Nischen-



technologie. Beispielsweise sind optische Technologien und ihre Anwendungen wie etwa die LEDs eng mit dem Problem unserer Energieversorgung verknüpft.

Frage: Eine legendäre Fehleinschätzung zum Potenzial einer Schlüsseltechnologie lieferte 1943 Thomas Watson, seinerzeit IBM-Vorstandsvorsitzender. Er sagte: Es gibt einen Weltmarkt für vielleicht fünf Großrechner. Wie kann ein Unternehmen wie Philips solche Irrtümer vermeiden?

Pankert: Watsons – Menschen mit großen Verdiensten, die aber Entwicklungen zu spät erkennen – wird es wohl immer geben. Wie die meisten Unternehmen haben wir bei Philips die Idee

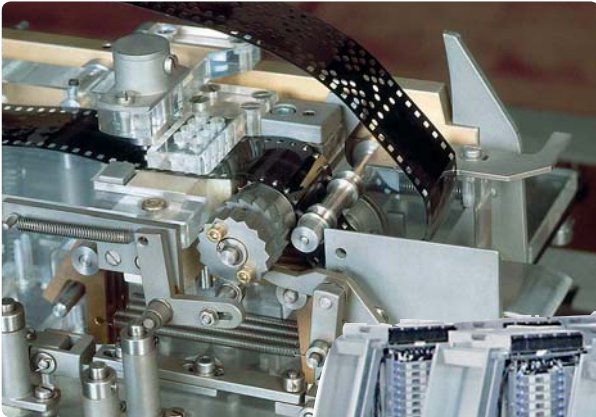
aufgegeben, die ganze Innovationskette kontrollieren zu können. Entscheidend ist vielmehr: Selbst wenn wir eine Entwicklung mal verpasst haben, müssen wir in der Lage sein, auf den Zug aufzuspringen – beispielsweise durch den Erwerb von kleinen Firmen und ihren Technologien. Das Schlagwort heißt „Open Innovation“: Wir müssen die Augen offen haben für alles, was sich beispielsweise an Universitäten und Forschungseinrichtungen um uns herum tut. Andererseits heißt das: An Universitäten und Forschungsinstituten und in der ganzen Gesellschaft muss es eine Kultur geben, in der Neues entstehen kann.

Interview Frank Frick

Zur Person

Dr. Joseph Pankert ist als „General Manager Laser Ventures“ für drei Tochterunternehmen von Philips verantwortlich, aus denen er eine Geschäftssparte des internationalen Konzerns mit mehreren Hundert Mitarbeitern entwickeln will. Zuvor war er entscheidend am Aufbau eines Gemeinschaftsunternehmens mit dem Fraunhofer Institut für Lasertechnik beteiligt. Dieses Joint Venture heißt heute XTREME technologies GmbH und wurde 2009 erfolgreich von Philips verkauft.

1 Computing



1936



2007

Technologische Zeitreise

Schlüsseltechnologien vorgestern, gestern und heute

- 1** 1936 entwickelte der Bauingenieur Konrad Zuse eine frei programmierbare mechanische Rechenmaschine – die Z1, den ersten Computer der Welt. Weil das Gerät während des Zweiten Weltkrieges zerstört wurde, ist im Bild das Programmwerk eines Exemplars zu sehen, das für das Deutsche Technikmuseum nachgebaut wurde. Im Jülicher Rechnerraum des Jahres 1967 arbeiten Wissenschaftler mit Computern, deren Leistungsfähigkeit winzig war – verglichen mit derjenigen aktueller Supercomputer. Die heutige Rechenpower ermöglicht es unter anderem, die Erdatmosphäre (siehe auch S. 8) zu simulieren.
- 2** Wer genau Ende des 16. Jahrhunderts die ersten Mikroskope gebaut hat, lässt sich nicht sicher klären. Im 19. Jahrhundert wurden Lichtmikroskope zu einem wichtigen Instrument in der Medizin und den Naturwissenschaften. Aufgrund der Entwicklung des Elektronenmikroskops Anfang der 1930er Jahre durch Ernst Ruska konnten Wissenschaftler dann in noch winzigere Dimensionen vordringen. Auch Jülicher Forscher nutzen entsprechende Geräte schon lang, wie das Bild von 1968 belegt. Mit den heutigen Mikroskopen im Ernst Ruska-Centrum gelingt sogar der Blick in die Quantenwelt (siehe auch S. 19).
- 3** Am 8. November 1895 entdeckte der Physiker Wilhelm Conrad Röntgen eine Strahlung, die Materie und den Körper des Menschen durchdringen konnte. Als er später einen Vortrag darüber hielt, durchleuchtete er zur Demonstration die Hand des Anatomen Rudolf Albert von Kölliker. Jülicher Mediziner injizierten 1971 einem Patienten ungefährliche radioaktiv markierte Stoffe und maßen die ausgesandte Strahlung mit Hilfe einer Gammakamera. Heute nutzen Jülicher Wissenschaftler MR-Tomografen, um äußerst scharfe und kontrastreiche Bilder vom menschlichen Gehirn zu erhalten (siehe auch S. 30).

2 Mikroskopie



2011



1968



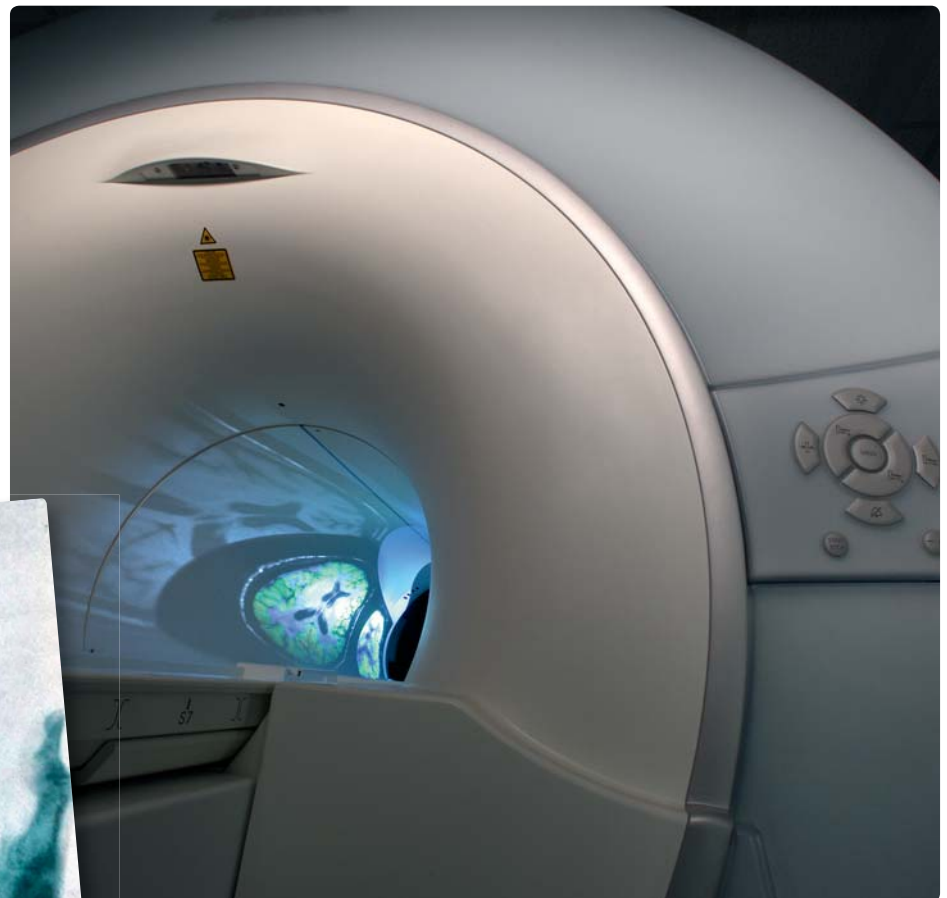
19. Jahrhundert

2007

3 Bildgebende Verfahren

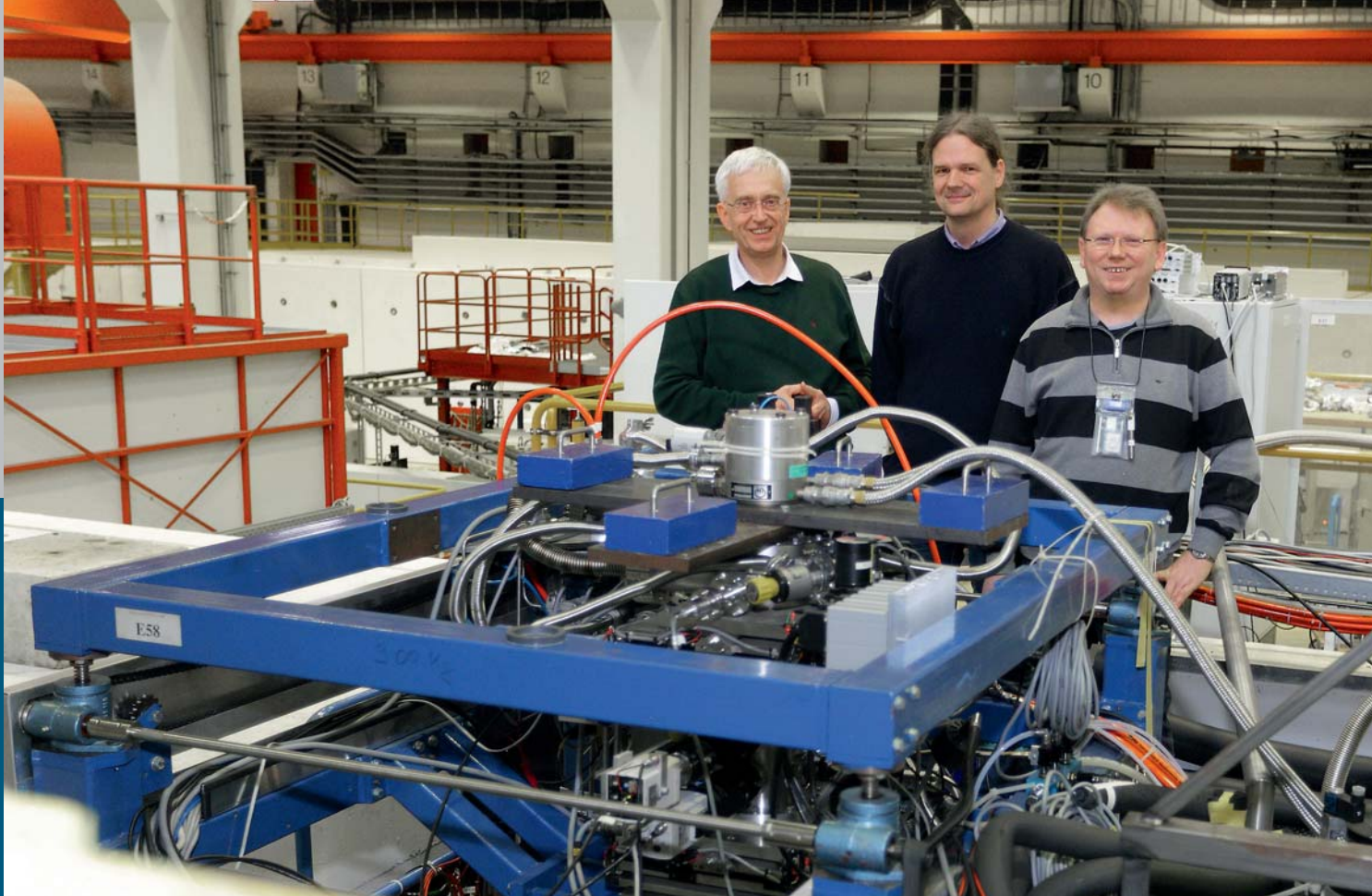


1971



1896





Mit Präzision zur Erkenntnis

Von Teilchenbeschleunigern erhoffen sich Wissenschaftler unter anderem wichtige Impulse für Medizin und Materialforschung. Jülicher Kernphysiker entwickeln diese Großgeräte mitsamt den notwendigen Teilchendetektoren weiter und sind dabei einem der großen Rätsel des Universums auf der Spur.

Warum gibt es uns, die Erde und den ganzen Rest? Nichts weniger als die Beantwortung dieser Urfrage haben sich die Jülicher Kernphysiker auf die Fahnen geschrieben. Doch während andere versuchen, einer Antwort dieser Frage durch Philosophieren oder Meditieren näherzukommen, ringen die Forscher der Natur ihre Geheimnisse mit Präzisionsphysik ab.

Bei ihrer Suche ist den Wissenschaftlern eine bestimmte Zerfallsart des Eta-Teilchens (siehe auch „Die mitwirkenden

Teilchen“, S.26) ins Visier geraten. Dessen Lebenszeit beträgt gerade mal eine halbe trillionstel Sekunde. Zum Vergleich: Die Taktrate heute gebräuchlicher Computerprozessoren liegt in der Größenordnung von einer Milliarde Rechenoperationen pro Sekunde. Ein einziger dieser winzigen Takte dauert damit zwei Milliarden Mal so lang wie die Lebenszeit eines Etas.

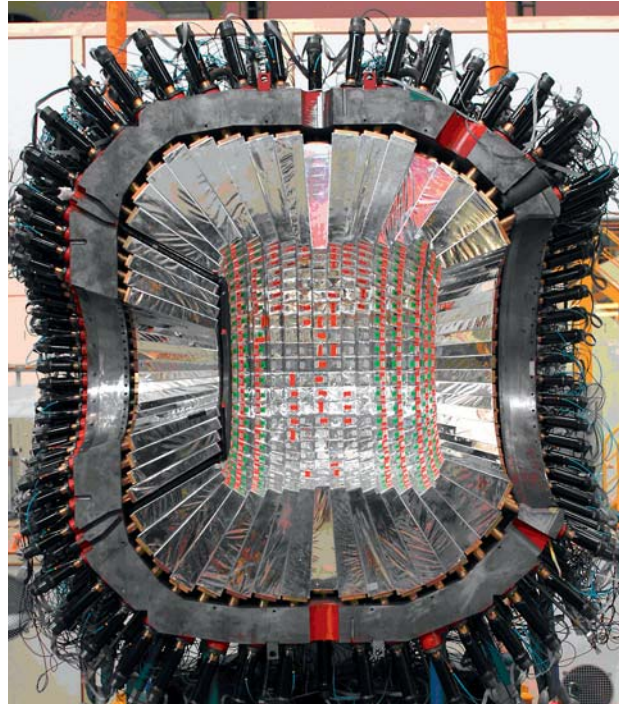
ZERSTÖRERISCHE ANTIMATERIE

Unsere Existenz stellt Physiker vor ein Problem. Eigentlich dürfte es uns gar

nicht geben. Beim Urknall sollte genau so viel Antimaterie wie Materie entstanden sein. Doch diese beiden Formen vernichten sich gegenseitig. Schon kurz nach der Geburt des Universums hätten sie sich einander wieder zerstören müssen. Aber das ist nicht der Fall. Nur, wie ist dieser offensichtliche Materieüberschuss zu erklären? Dass sich Materie und Antimaterie im Universum fein säuberlich getrennt zu Haufen zusammengeballt haben, hält Prof. Siegfried Krewald vom Jülicher Institut für Kernphysik (IKP) wie



Prof. Siegfried Krewald, Dr. Christoph Hanhart und Dr. Volker Hejny (v.l. n. r.) in der Halle des Jülicher Teilchenbeschleunigers COSY.



Der WASA-Detektor, mit dem die Jülicher Kernphysiker die Zerfallsprodukte des Eta-Teilchens registrieren.

die meisten seiner Kollegen für ziemlich unwahrscheinlich: „An den Grenzen zwischen diesen Haufen würden sich die beiden Materiearten gegenseitig vernichten. Dabei würden gigantische Energien frei.“ Und die müssten Astronomen eigentlich sehen.

RÄTSELHAFTER ÜBERSCHUSS

Viele Wissenschaftler gehen deshalb davon aus, dass die Asymmetrie von Materie und Antimaterie in den Gesetzen der Physik selbst angelegt ist. Das physikalische „Regelwerk“ bevorzugt Materie gegenüber Antimaterie, so die Vorstellung. Und deshalb blieb schließlich zwangsläufig Materie übrig. „Diese sogenannte CP-Verletzung ist tatsächlich Bestandteil des Standardmodells und wurde in Experimenten bereits vielfach bestätigt“, sagt Krewalds Kollege Dr. Christoph Hanhart und fügt hinzu: „Aber dummerweise ist sie um Größenordnungen zu klein, um den beobachteten millionenfachen Materieüberschuss im Universum zu erklären.“

Hier kommt nun das Eta-Teilchen ins Spiel, genauer: die Art und Weise, wie es „stirbt“. Die Physiker vermuten nämlich, dass es in der Natur eine Symmetrieverletzung gibt, die noch über das hinausgeht, was das Standardmodell der Teilchenphysik vorhersagt. Und diese könnte nicht nur den Materieüberschuss im Universum erklären, sondern hätte auch Auswirkungen auf den Zerfall des Etas.

„Etwa jedes zehntausendste Eta zerfällt in ein Elektron, ein Positron und je ein positiv und ein negativ geladenes Pion“, erläutert Dr. Volker Hejny, ebenfalls vom IKP. Diese vier Teilchen fliegen voneinander weg (siehe auch Grafik S.26). „Wenn es die über die Vorhersagen des Standardmodells hinausgehende Symmetrieverletzung tatsächlich gibt, dann erwarten wir, in der geometrischen Anordnung der Flugbahnen eine Asymmetrie zu finden – und zwar bei maximal zwei Prozent dieser für sich bereits äußerst seltenen speziellen Eta-Zerfälle“, sagt Hejny, und Hanhart

macht deutlich: „Zwei Prozent ist die absolute Obergrenze. Wahrscheinlich ist der Effekt viel kleiner.“

MILLIONENFACHE KOLLISION

Erst die Kombination aus COSY-Beschleuniger und WASA-Detektor, der vor einigen Jahren aus dem schwedischen Uppsala nach Jülich verlegt worden war, ermöglichte die notwendigen extrem genauen Messungen. Das 200 Meter lange Cooler Synchrotron COSY erzeugt einen besonders gleichmäßigen, durch unterschiedliche Verfahren „gekühlten“ Protonenstrahl. Dieser trifft mit nahezu Lichtgeschwindigkeit auf ein zweites Proton, im Schnitt mehrere Millionen Mal pro Sekunde. Bei etwa jeder zehntausendsten Kollision entsteht ein Eta, nach dessen Zerfallsprodukten der mit etwa 6000 Detektorelementen ausgestattete WASA-Detektor als „Spürhund“ fahndet.

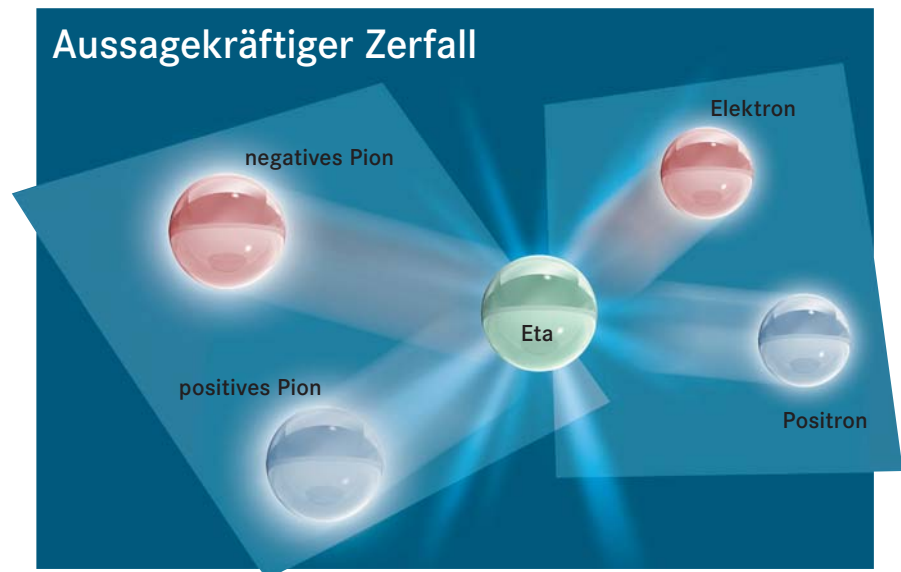
Um der dabei anfallenden Datenflut Herr zu werden, haben die Kernphysiker die Ausleseelektronik von WASA

in Zusammenarbeit mit ihren Jülicher Kollegen vom Zentralinstitut für Elektronik perfektioniert. „Wir können jetzt zehntausend Ereignisse pro Sekunde aufnehmen“, sagt Hejny. Mehrere hundert Millionen Eta-Zerfälle haben die Forscher inzwischen gespeichert. Ob die vermutete CP-Verletzung schon darunter ist, wird die Auswertung der Daten in den nächsten Jahren zeigen.

Das Know-how, das die Jülicher während des Betriebs von COSY gesammelt haben, ist auch bei einem der weltweit größten Forschungsvorhaben gefragt: dem internationalen Beschleunigerkomplex FAIR, der derzeit in Darmstadt gebaut wird. Die Jülicher Gruppe konzipiert den FAIR-Beschleuniger HESR, den „großen Bruder“ von COSY. Er wird als Zentrum der „Antimaterie-Physik“ Experimente mit Antiprotonen ermöglichen, die das Rätsel unserer Existenz weiter erhellen sollen.

Axel Tillemans

Aussagekräftiger Zerfall



Jedes zehntausendste Eta (grün) zerfällt in ein Elektron (rot, klein), ein Positron (blau, klein) und in jeweils ein negatives (rot, groß) und ein positives (blau, groß) Pion. Die Flugbahnen des Elektrons und Positrons einerseits und die der beiden Pionen andererseits liegen jeweils in einer Ebene. Wenn es in der Winkelbeziehung dieser beiden Ebenen zueinander eine Asymmetrie gibt, könnte dies erklären, warum es in unserem Universum Materie gibt.

DIE „MITWIRKENDEN“ TEILCHEN

	Mittlere Lebensdauer	Masse (in Gramm)	elektrische Ladung	
Proton	nach Standardmodell stabil	$1,67 \cdot 10^{-24}$	positiv	Ein Grundbestandteil der Materie. Der Kern eines Wasserstoffatoms besteht aus genau einem Proton.
Antiproton	nach Standardmodell stabil	$1,67 \cdot 10^{-24}$	negativ	Antiteilchen zum Proton. Künstlich erzeugt wurde es erstmals 1955 im LBNL-Forschungszentrum im kalifornischen Berkeley. Derzeit wird daran geforscht, Antiprotonen in der Strahlentherapie einzusetzen. Man erhofft sich dadurch eine größere Schonung des gesunden Gewebes.
Elektron	nach Standardmodell stabil	$0,91 \cdot 10^{-27}$	negativ	Ein Grundbestandteil der Materie. Im Wasserstoffatom wird der Kern von genau einem Elektron umkreist.
Positron	nach Standardmodell stabil	$0,91 \cdot 10^{-27}$	positiv	Das Antiteilchen zum Elektron. Erzeugt werden kann es beispielsweise beim radioaktiven Zerfall von Atomkernen. Beim Auftreffen auf ein Elektron vernichtet es sich.
Pion	26 milliardstel ($26 \cdot 10^{-9}$) Sekunden	$0,25 \cdot 10^{-24}$	positiv oder negativ	Es entsteht z. B. beim Auftreffen von kosmischer Strahlung auf die Gasatome der Erdatmosphäre. Neben den elektrisch geladenen positiven und negativen Pionen gibt es auch neutrale Pionen, die jedoch wesentlich kurzlebiger sind.
Eta	0,51 trillionstel ($0,51 \cdot 10^{-18}$) Sekunden	$0,98 \cdot 10^{-24}$	neutral	Zählt wie das Pion zu den Mesonen; so kurzlebig, dass es nicht direkt nachgewiesen werden kann. Durch Nachweis der Teilchen, in die es bei seinem „Ableben“ zerfällt, kann man seine Existenz jedoch belegen.

Prof. Wolfgang Lück im Gespräch

„Man sollte nicht jeder Modeerscheinung folgen“

Der Mathematiker und Grundlagenforscher spricht darüber, was die Forschungsförderer aus dem Beispiel BSE lernen sollten. Und erläutert, warum Physik, Chemie, Biologie und Medizin für ihn Schlüsseltechnologien sind.

Frage: Welche Technologien fallen Ihnen spontan ein, wenn Sie den Begriff „Schlüsseltechnologien“ hören?

Lück: Physik, Chemie, Biologie und Medizin. Künftig werden diese vier traditionellen Wissenschaftsdisziplinen noch mehr miteinander verschmelzen. Und dann würde ich auch noch die Mathematik als künftige Schlüsseltechnologie dazuzählen.

Frage: Eine ungewöhnliche Antwort. Umso wichtiger die nächste Frage: Wie definieren Sie den Begriff Schlüsseltechnologie?

Lück: Als einen Wissenschaftsbereich, von dem die Gesellschaft für sich große Fortschritte erwarten kann.

Frage: Aber erklären Sie mit Ihrer Aufzählung der traditionellen naturwissenschaftlichen Fächer, der Medizin und der Mathematik nicht die gesamte Wissenschaft zur Schlüsseltechnologie?

Lück: Nein. Ich sage: Eine Schlüsseltechnologie ist ein Wissenschaftsbereich, in den die Gesellschaft investiert, weil sie glaubt, dass sie dafür viel zurückbekommt. Diese Bereiche ändern sich mit der Zeit: Vor dreißig Jahren waren Physik und Chemie der Renner, gegenwärtig setzt man vor allem auf die Lebenswissenschaften und künftig ist es möglicherweise etwas anderes. Hier sind Wissenschaft und Politik stets wieder aufs Neue gefordert herauszufinden,



welches die Bereiche sind, von denen man sich besonders viel erwarten kann.

Frage: Wie aber kann es Politik und Gesellschaft gelingen, diese Bereiche zu identifizieren, um dann gezielt in die entsprechende Forschung zu investieren?

Lück: Ich halte der Politik zugute, dass das schwierig ist. Zum einen bedarf es eines kontinuierlichen Überwachungsprozesses und der Forschungsförderung dort, wo man Qualität sieht. Zum anderen sollte man nicht jeder Modeerscheinung folgen. Denken Sie an das Beispiel BSE, umgangssprachlich Rinderwahnsinn genannt. Da wurde kurzfristig viel Geld in die Forschung gesteckt – heute

redet von BSE niemand mehr. Außerdem hätte ich noch eine Empfehlung: Man sollte zwar den weitaus überwiegenden Teil der Fördergelder in geplante Forschung stecken. Man sollte aber auch einen kleinen Teil in freie Forschung investieren, also in Forschung, bei der man von den Wissenschaftlern nicht verlangt, ein bestimmtes Problem innerhalb beispielsweise von drei Jahren zu lösen. Wenn man die ungeplante Forschung vernachlässigt, beraubt man sich sozusagen der langfristigen Produktentwicklung. Übrigens scheinen das auch manche Unternehmen erkannt zu haben. Microsoft beispielsweise hat in Kalifornien eine Abteilung, in der nur reine Mathematiker an sehr grundlegenden Fragen arbeiten.

Interview Frank Frick

Zur Person

Wolfgang Lück ist Professor an der Universität Bonn und dem Hausdorff Research Institute for Mathematics. Sein Forschungsgebiet, die algebraische Topologie, gehört zur sogenannten reinen Mathematik. Er erhielt den Max-Planck-Forschungspreis und den Gottfried Wilhelm Leibniz-Preises und war 2009 und 2010 Präsident der Deutschen Mathematiker-Vereinigung.

Den Strukturen der Demenz auf der Spur

Jülicher Wissenschaftler entschlüsseln den Aufbau und das Zusammenspiel von Eiweißstoffen, die an allen Lebensvorgängen beteiligt sind. Dafür sind Methoden der StrukturbioLOGIE wichtige Werkzeuge. Die gewonnenen Erkenntnisse dienen dazu, Diagnose und Therapie der Alzheimer-Erkrankung zu verbessern, unter der allein in Deutschland rund eine Million Menschen leiden.

Wer die Namen seiner Kinder vergisst, sich gleich vor der eigenen Haustür verläuft und alltägliche Verrichtungen wie das Ankleiden nicht mehr bewältigt, leidet bereits an fortgeschrittener Alzheimer-Demenz. Mit Medikamenten ist diesen Patienten bisher kaum zu helfen, auch wenn Forscher derzeit an neuartigen Arzneimitteln arbeiten. „Die Erfolgsaussichten durch die neuen Wirkstoffe wären wahrscheinlich deutlich besser, wenn man sie einsetzen könnte, bevor schwere Symptome auftreten, denn der Krankheitsprozess im Gehirn ist dann schon sehr weit vorangeschritten“, erklärt die Biologin Dr. Susanne Aileen Funke. Ein Jülicher Forscherteam um sie

und den Biochemiker Prof. Dieter Willbold will daher die Moleküle, die das Gehirn lahmlegen, möglichst frühzeitig aufspüren.

MIT SPIEGELBILDERN AUF DER SUCHE

Ganz sicher lässt sich die Diagnose bisher erst nach dem Tod eines Patienten stellen, wenn sich zwischen den Hirnzellen des Verstorbenen charakteristische Ablagerungen finden, die Amyloid-Plaques. Sie bilden sich aus der Zusammenballung vieler β -Amyloid-Moleküle – Ketten aus rund 40 Eiweißbausteinen, den sogenannten Aminosäuren. Die unlöslichen Ablagerungen galten lange als Auslöser der Krankheitssymptome. „Doch heute wissen wir,

dass vor allem kleine, lösliche Aggregate aus wenigen Amyloid-Molekülen eine bedeutsame Rolle im Krankheitsprozess spielen“, berichtet Funke.

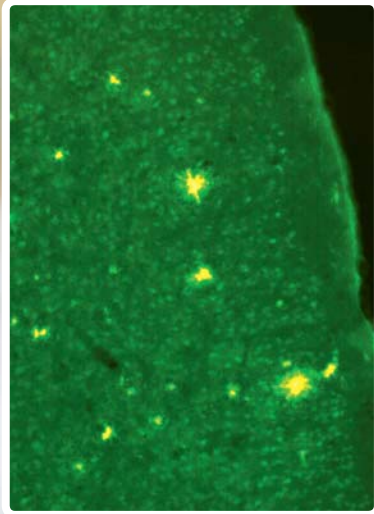
Zum Nachweis dieser gefährlichen Aggregate hat das Jülicher Team vom Institute of Complex Systems mikroskopische Sonden hergestellt. Es handelt sich dabei um kurze Aminosäureketten – Peptide –, die sich an die β -Amyloide anlagern. Diese Peptide enthalten ganz besondere Aminosäuren, die in natürlichen Eiweißen nicht vorkommen. Diese D-Aminosäuren sind spiegelbildlich zu den natürlichen L-Aminosäuren aufgebaut. Der Vorteil der künstlichen Spiegelbilder: Sie werden von körpereigenen Abbauproteinen nicht angegriffen und sind daher besonders stabil. Da sie vom Immunsystem nicht als fremde Eiweiße erkannt werden, haben sie zudem sehr wenige Nebenwirkungen.

Die Jülicher Wissenschaftler um Funke und Willbold testeten eine ganze Reihe solcher Peptide. Zwei davon stellten sich als besonders nützlich heraus. Das eine, D1 genannt, eignet sich, um die gefährlichen Aggregate aus β -Amyloid-Molekülen mit bildgebenden Methoden im Gehirn zu entdecken – ein wichtiger Schritt zu neuen Diagnoseverfahren. Das andere, D3, schützt Zellkulturen sogar vor den β -Amyloid-Verbindungen – und bietet damit einen Ansatz für vorbeugende und therapeutische Medikamente.

Die Eigenschaften der D1-Moleküle konnten die Jülicher Forscher gemeinsam



Dr. Susanne Aileen Funke und Prof. Dieter Willbold sind den β -Amyloiden auf der Spur, die eine bedeutsame Rolle bei der Alzheimer-Demenz spielen.



In einer älter werdenden Bevölkerung werden immer mehr Menschen unter Alzheimer leiden. Links: Die fluoreszenzmarkierte Substanz D1 zeigt, wo sich im Mäusegehirn Amyloid-Ablagerungen gebildet haben, wie sie ähnlich bei Alzheimer-Patienten auftreten.

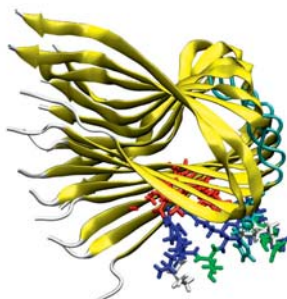
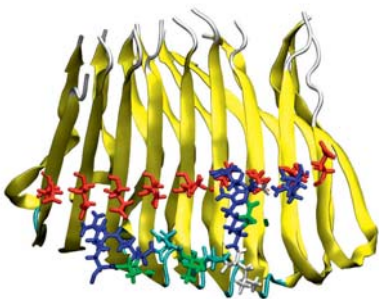
mit Kollegen der Universität Alabama, USA, aufdecken. In menschlichen Gewebeschnitten werden von D1 nur Ablagerungen aus dem β -Amyloid und keine anderen Ablagerungen erkannt. Mittels schwach radioaktiver Marker und Positronenemissionstomografie sollen sich die Alzheimer-typischen Ablagerungen durch diese D1-Sonde künftig auch direkt im lebendigen Gehirn nachweisen lassen.

SCHRITTE ZU NEUEN ARZNEIMITTELN

Auch auf dem Weg zu einem Medikament kommen die Jülicher Forscher voran. Mäuse, die mutierte Gene für ein menschliches Vorläuferprotein des β -Amyloids besitzen, zeigen unbehindert nach wenigen Lebensmonaten Anzeichen

von Demenz. Sie finden beispielsweise in einem Wasserbecken die Plattform zum Ausruhen nicht mehr wieder. Bekommen sie aber D3 im Trinkwasser verabreicht, bewahrt das die Alzheimer-Modellmäuse vor dem Gedächtnisverlust. Auch finden sie in ihrem Hirn, anders als bei unbehandelten Tieren, deutlich weniger Amyloid-Plaques. „Noch wissen wir allerdings nicht genau, wie D3 eigentlich wirkt“, sagt Willbold. Möglicherweise verhindert das Peptid, dass sich die einzelnen Amyloid-Moleküle zusammenlagern. Oder es zieht die gefährlichen kleinen Aggregate aus dem Verkehr, indem es bewirkt, dass sich strukturell verschiedene, harmlose Amyloid-Klumpen bilden.

Für die Weiterentwicklung zu neuen Arzneimitteln gehen die Jülicher Wissenschaftler gemeinsam mit Kollegen aus deutschen und französischen Universitäten völlig neue Wege. Zum Einsatz kommt eine Vielzahl von Methoden, angefangen von molekularbiologischen Verfahren über Strukturuntersuchungen mit einem neuen, besonders hoch auflösenden 900 MHz NMR-Spektrometer bis hin zu Computersimulationen. In neuen Versuchen kombinieren die Forscher zwei unterschiedliche Wirkstoffmoleküle. Um die Wirksamkeit des mit molekularbiologischen Verfahren erzeugten D3-Peptids noch zu verbessern, haben die Forscher es mit einem anderen Wirkstoff namens Aminopyrazol kombiniert, das aus chemischen Syntheseverfahren stammt. In Zellkulturen konnten die aneinander gekoppelten Stoffe verhindern, dass sich gefährliche kleine β -Amyloid-Aggregate bilden – und zwar sehr viel wirkungsvoller als eine bloße Mischung aus D3 und Aminopyrazol. Das Hybrid-Molekül leistet also mehr als die Summe seiner Teile. „Damit haben wir eine weitere vielversprechende Ausgangssubstanz für künftige Medikamente“, ist Funke überzeugt.



Computersimulationen zeigen zwei unterschiedliche Ansichten davon, wie sich die Substanz D3 an gefährliche β -Amyloid-Moleküle – dargestellt als gelb-grüne Bänder – anlagert.

Wiebke Rögner



Neue Einblicke ins Gehirn

Bildgebende Verfahren sind der Schlüssel zum Verständnis des Gehirns und zur besseren Diagnose zahlreicher Krankheiten. Jülicher Wissenschaftler entwickeln die Methoden und die Geräte in enger Zusammenarbeit mit dem Unternehmen Siemens weiter, um Hirnstrukturen und Stoffwechselfvorgänge detaillierter abzubilden als je zuvor.



Prof. Jon Shah schaut durch die Röhre des Jülicher 9,4-Tesla-MR-PET. Gemeinsam mit dem Hersteller Siemens arbeiten er und sein Team daran, das Gerät weiter zu verbessern.

resonanztomografen „9komma4“. Geräte, die ein so starkes magnetisches Feld erzeugen, sind derzeit weltweit an einer Hand abzuzählen. In Deutschland gibt es nur ein weiteres. „Mit der Feldstärke steigt der Kontrast quadratisch an: ein Riesengewinn. Hinzu kommen bei 9,4 Tesla noch andere Kontrastmechanismen, die bei 3 Tesla, wie heute bei Klinikgeräten üblich, bedeutungslos sind“, erläutert Shah. So lässt sich bei 9,4-Tesla-Aufnahmen weiße und graue Hirnsubstanz deutlich unterscheiden, ohne dass irgendwelche Bildbearbeitungstricks angewandt werden müssen.

9,4 Tesla entsprechen einem Magnetfeld, das rund 200-mal stärker ist als das eines „gewöhnlichen“ Magneten, mit dem man etwa Notizen an eine Kühlschrankschranktür heftet. Ein 9,4-Tesla-Magnetresonanztomograf (MRT) zeichnet sich nicht nur durch besonders kontrastreiche Bilder, sondern auch durch eine sehr hohe – wie Fachleute sagen – „räumliche Auflösung“ aus. Die Bilder sind also auch besonders scharf. Was das bedeutet, wird auf einen Blick klar, wenn Shah Aufnahmen vom Hippocampus präsentiert – eine Hirnstruktur, die beispielsweise bei der Alzheimer-Krankheit eine Rolle spielt. Auf 3-Tesla-Aufnahmen nur schwammig zu

erkennen, zeigen die Hochfeld-Bilder dagegen auch kleinere Details vom Hippocampus (siehe Bilder auf S. 32).

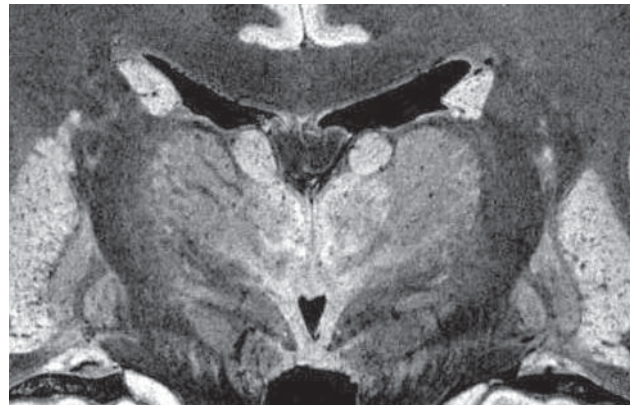
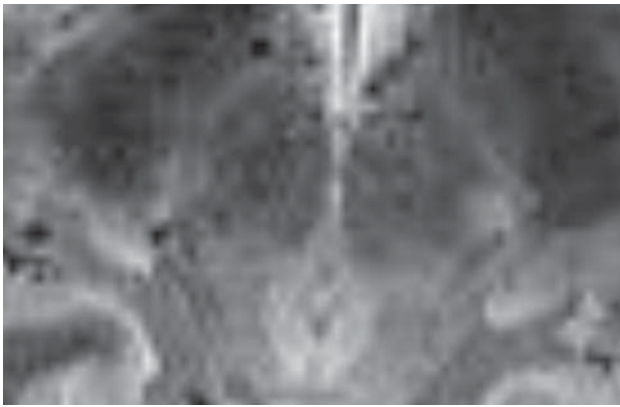
JÜLICH ALS VORREITER

Doch die hohe Feldstärke hat auch eine Kehrseite. So bedeutete die Vorreiterrolle des Gerätes zunächst, dass besondere behördliche Prüfungen absolviert werden mussten – ein Grund dafür, warum die Bilder aus 2011 überwiegend von den Gehirnen Verstorbener stammen. Im Laufe des Jahres 2012 wird sich das ändern: Dann wird das 9komma4 für Untersuchungen an Gesunden und Patienten eingesetzt.

Doch auch noch in anderer Hinsicht sind MR-Tomografen mit Feldstärken über 7 Tesla eine echte Herausforderung. Sie verlangen besonders präzises Arbeiten und liefern nur dann optimale Bilder, wenn sie in einer langwierigen Prozedur an jeden Probanden oder Patienten individuell angepasst werden.

Ein MRT kann Bilder erzeugen, weil sich in seinem Magnetfeld Atomkerne des menschlichen Körpers – zumeist Wasserstoffkerne – wie winzige Kompassnadeln ausrichten. Mit elektromagnetischen Wellen, ähnlich den Radiowellen, können sie aus dieser aufgezwungenen Orientierung

Prof. Jon Shah macht eine Faust. Dabei sagt der Direktor am Institut für Neurowissenschaften und Medizin: „Stellen Sie sich vor, das sei ein Hirntumor und drum herum läge gesundes Gewebe. Bei schwachem Kontrast könnten sie die Faust – oder den Tumor – kaum von seiner Umgebung unterscheiden.“ Verdeutlichen will er einen wichtigen Vorteil des 9,4 Tesla-Magnet-



Der Hippocampus eines Verstorbenen, abgebildet mit einem 3-Tesla-Magnetresonanztomografen (links) und einem 9,4-Tesla-Gerät (rechts). Der Vergleich zeigt eindrucksvoll den Gewinn an Schärfe, Detailreichtum und Kontrast durch das höhere Magnetfeld.

ausgelenkt werden. Nach dem Abschalten der Radiowellen kehren die Atomkerne in ihre alte Richtung zurück und senden dabei selbst elektromagnetische Wellen aus. Diese werden von Empfänger- spulen wie von einer Antenne registriert. Je nach Gewebetyp ist dieses Signal unterschiedlich lang und intensiv, so dass der Computer daraus Schnittbilder des Gehirns berechnen kann.

MÖGLICHKEITEN VOLL AUSSCHÖPFEN

Schon seitdem das Phänomen der Magnetresonanz vor mehr als 25 Jahren in die medizinische Bildgebung einzog, haben sich Wissenschaftler damit beschäftigt, wie man die anregenden Radiofrequenzpulse optimal gestaltet. Doch das erarbeitete Pulsdesign für herkömmliche 3-Tesla-Geräte lässt sich nicht einfach auf Hochfeld-Geräte übertragen. Um

deren Möglichkeiten voll auszuschöpfen, benötigt man komplexe Pulse. „Diese mussten bisher mit Hilfe von Supercomputern zeitaufwendig berechnet werden, während der Proband im Gerät wartete. Der gewohnheitsmäßige Einsatz solcher komplexer Pulse schien daher noch weit entfernt“, erläutert Shah. Er und sein Team haben nun entdeckt, dass sich der gesuchte Puls häufig durch eine vorherige spezielle und schnelle Kalibrierungsmessung ermitteln lässt. Gemeinsam mit dem Partner Siemens haben die Jülicher ihr Verfahren, die Pulse rasch auf direktem Wege zu entwerfen, zum Patent angemeldet. Als weitere Verbesserung haben sie außerdem spezielle Magnetspulen-Systeme gebaut. Damit liefert auch bei 9,4 Tesla gleichartiges Gewebe gleiche Bildsignale – unabhängig davon, an welcher Stelle im Gehirn es sich befindet.

Um nicht nur anatomische Strukturen sehen, sondern auch biochemische Vorgänge und Funktionen des Gehirns analysieren zu können, ist in das Jülicher 9komma4 zusätzlich ein Positronenemissionstomograf (PET) integriert. Damit lässt sich verfolgen, wie sich eine zuvor injizierte, schwach radioaktive Substanz im Gehirn verteilt. So können die Forscher Stoffwechselforgänge oder die Aktivität von Rezeptoren beobachten, die für die Kommunikation zwischen den Gehirnzellen sorgen. Die Bilder eines PET alleine sind aber unscharf, so dass sich darauf nur sehr ungenau erkennen lässt, wo im Gehirn etwas geschieht. Gemeinsam mit dem Hochfeld-MRT jedoch bildet der PET ein perfektes Team.

Frank Frick



PET und MR für Pflanzenforschung

Bildgebende Verfahren eignen sich nicht nur zur Erforschung des Gehirns. So entwickeln die Pflanzenforscher des Instituts für Bio- und Geowissenschaften die Positronenemissions- und die Magnetresonanztomografie weiter und untersuchen mit diesen Methoden unter anderem pflanzliche Strukturen, Wassergehalte sowie Transportvorgänge, ohne die Pflanzen dabei zu zerstören.

Dr.-Ing. E. h. Uwe Thomas im Gespräch

„Fenster in die Zukunft aufstoßen“

Der Staatssekretär a. D. ist überzeugt, dass die öffentliche Förderung von Schlüsseltechnologien in den letzten Jahren immer wichtiger geworden ist.

Frage: Welche drei Technologien fallen Ihnen spontan ein, wenn Sie den Begriff „Schlüsseltechnologien“ hören?

Thomas: Der Begriff ist schillernd. Es gibt Schlüsseltechnologien, die über sehr viele Branchen hinweg bedeutsam sind. Dazu zählte in der Vergangenheit die Erfindung des Transistors, die später zur Mikroelektronik führte und heute zur Nanoelektronik. Andere Schlüsseltechnologien sind eher für einzelne Felder wichtig, wie etwa die Ionik, also der Transport und die Umwandlung von Ionen. Sie ist der Schlüssel zu leistungsfähigeren Batterien, die wiederum für die Automobilindustrie immer wichtiger werden. Ein weiteres Beispiel ist die Lasertechnik, in der etwa die deutsche Firma Trumpf zu einem Weltmarktführer geworden ist. Also: Schlüsseltechnologien stoßen Fenster in die Zukunft auf, zu Innovationen und neuen Anwendungen.

Frage: Wie wichtig ist es, dass Schlüsseltechnologien öffentlich gefördert werden?

Thomas: Spätestens seit den 1990er Jahren ist dem Staat eine sehr große Verantwortung für die Forschung zuge wachsen. Das hängt mit einem weltweiten Paradigmenwechsel in der Industrie zusammen. Früher etwa hatte eine Forschungseinrichtung der Industrie wie die Bell Laboratories mehr als 20 000 Mitarbeiter und brachte zahllose grundlegende und umwälzende Erkenntnisse hervor – und viele Nobelpreisträger. Ähnliches gilt für die Siemens AG, die inzwischen weitgehend auf Grundlagenforschung verzichtet. Heute können Unternehmen, die kaum eigene Forschung betreiben, trotz-



dem zu Weltmarktführern aufsteigen, indem sie andere Firmen und deren Technologien und Innovationen aufkaufen. Ein gutes Beispiel ist die Firma CISCO, die mehr als 400 innovative Unternehmen gekauft hat. Die Zeit der großen Industrie-Forschungseinrichtungen scheint vorbei zu sein – öffentlich geförderte Forschung muss die entstandene Lücke füllen, damit Neues nachwächst.

Frage: Mal abgesehen von der Unterscheidung „öffentlich“ oder „industriell“ – ist eine große Forschungseinrichtung besser geeignet als mehrere kleine, um Schlüsseltechnologien zu entwickeln?

Thomas: Tatsächlich hat Jülich mit seinem Campus hier einen besonderen Vorteil. Während beispielsweise die Max-Planck-Institute über ganz Deutschland verteilt sind, können sich die Jülicher Wissenschaftler in der Kantine über den

Weg laufen. Dadurch wird es sehr viel einfacher, unterschiedliche Forschungsfelder zusammenzuführen und an den Schnittstellen zu arbeiten, die häufig besonders fruchtbar sind.

Frage: Schnittstellen, aus denen besonders oft neue Schlüsseltechnologien hervorgehen?

Thomas: Ja. Beispielsweise forscht man in Jülich über die Funktionsweise des menschlichen Gehirns. Andererseits ist Jülich ein europaweit führendes Zentrum für Parallelcomputing. Im sogenannten Human Brain Project werden nun gerade beide Kompetenzen verbunden, unter anderem, um die Grundlagen für flexiblere und lernfähigere Computer zu legen. Künftig könnte man dieses Forschungsgebiet weiter ausbauen mit dem Ziel, menschliche Lernprozesse besser zu verstehen und daraus Lernstrategien und Lernsoftware zu entwickeln – ein Feld, welches noch unerschlossen ist, aber wohl in den nächsten Jahrzehnten eine enorme Dynamik mit weitreichenden Folgen entfalten kann.


Interview Frank Frick

Zur Person

Dr.-Ing. E. h. Uwe Thomas war von 1998 bis 2002 Staatssekretär im Bundesministerium für Bildung und Forschung. In dieser Zeit hat der Physiker zahlreiche Förderprogramme für Schlüsseltechnologien auf den Weg gebracht.

Mit Neutronen zu neuen Materialien

Steinzeit, Eisenzeit, Kunststoff-Ära – Werkstoffe prägen schon immer den Fortschritt der Menschheit. Heute stehen wir wieder an einer Schwelle: zu Materialien, die auf Molekülebene nach bestimmten Anforderungen neu geschaffen werden. Den unverzichtbaren Zugang zu diesen winzigen Dimensionen schafft die Neutronenforschung.



Ein Kratzer im Lack des neuen Autos ist höchst ärgerlich. Auch überdimensionierte Verschleißteile an Maschinen kosten unnötiges Material und Energie. Ideal wäre es, wenn sich Risse und Kratzer von selbst wieder verschlössen, wie bei Lebewesen eine Schramme oder ein Knochenbruch heilt. Erste Produkte mit Selbstheilungskräften gibt es schon, „unplattbare“ Fahrradreifen etwa, bei denen sich ein Loch mit einer viskosen Substanz verschließt. „Doch das funktioniert an einer Stelle nur genau einmal“, sagt der Chemiker Dr. Wim Pyckhout-Hintzen. Er entwickelt mit seinen Kollegen am Jülich Centre for Neutron Science (JCNS) Materialien, die uneingeschränkt immer wieder neu zusammenwachsen können. „Sie bilden ein Netzwerk. Wenn es zerreißt, kann es sich immer wieder neu knüpfen“, erläutert Pyckhout-Hintzen. Die Stoffe bestehen aus Polymerbausteinen, das sind kettenförmige Moleküle. Sie haften über mehrere Wasserstoffbrücken lose aneinander, und diese Bindungen können sich trennen und neu zusammenfügen.

LANGLEBIG DURCH SELBSTHEILUNG

Dem Verschleiß entgegenwirken sollen auch Teilchen im Nanomaßstab – also in der Größenordnung von einigen millionstel Millimetern. In elastischen Materialien verteilt, im Gummi von Auto- oder Fahrradreifen beispielsweise, verleihen sie Stabilität und vermindern den Abrieb. Das Prinzip ist nicht neu. Die bisher verwendeten Partikel, etwa aus Siliziumdioxid oder Ruß, waren allerdings relativ grob. Mit feinen Nanopartikeln lassen



Dr. Andreas Wischnewski (l.) und Dr. Wim Pyckhout-Hintzen erforschen Materialien, die besonders wenig verschleiben und über Selbstheilungskräfte verfügen.

sich dagegen viel größere Wirkungen erzielen – und die Vorteile von harten und weichen Materialien kombinieren. Denn ihre Oberfläche ist bei gleicher Masse bedeutend größer. „Dadurch gibt es viel mehr Wechselwirkungen zwischen den eingelagerten Teilchen und dem Gummi. Reifen oder Dichtungen aus derartigem Material nutzen sich langsamer ab“, erläutert Pyckhout-Hintzen.

Derzeit versuchen die Jülicher Forscher, beide Ansätze – Selbstheilung und nanoverstärkte Eigenschaften – zu besseren Werkstoffen zu verbinden. Sie entwickeln Teilchen, die Gummi oder andere weiche, elastische Materialien widerstandsfähiger machen – und gleichzeitig Risse selbst reparieren. Ihr „Trick“: Die Jülicher Forscher setzen auf Moleküle, die mehrere „Ärmchen“ haben und bei einer Beschädigung ineinandergreifen, um die Lücke zu schließen.

Für dieses vielversprechende Arbeitsfeld interessieren sich auch die Industrie und viele andere Wissenschaftler. Die Jülicher Forscher nehmen in diesem internationalen Wettbewerb dank Neutronenforschung eine Spitzenposition ein, erklärt der Physiker Dr. Andreas

Wischnewski vom JCNS: „Einzigartig ist bei uns der mikroskopische Zugriff auf solche Materialien mittels Neutronenstreuexperimenten. Nur so lassen sich beispielsweise Selbstheilungsmechanismen auf der Ebene der Moleküle verstehen.“ Darüber hinaus setzen die Jülicher Neutronenforscher auch andere etablierte Untersuchungsverfahren, etwa zur Messung der mechanischen oder der makroskopischen magnetischen Eigenschaften ein. Die Jülicher Forscher betreiben modernste Instrumente an Neutronenquellen in aller Welt, so am Reaktor FRM II in Garching bei München, am Institut Laue-Langevin im französischen Grenoble und an der Spallationsquelle SNS in Oak Ridge, USA – Europas einziger direkter Zugang zur aktuell stärksten gepulsten Neutronenquelle der Welt.

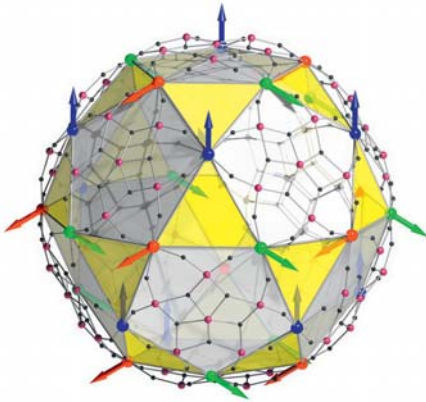
IDEALE SONDEN

Für die Materialforscher sind Neutronen, die zusammen mit den Protonen die Bausteine der Atomkerne darstellen, als Sonden ideal. Anders als die elektrisch geladenen Protonen oder Elektronen sind Neutronen elektrisch neutral. Elek-

trische Wechselwirkungen, etwa durch die Elektronenhülle der Moleküle, können sie nicht beeinflussen. Deshalb dringen Neutronen relativ ungestört bis zum „inneren Gerüst“, den Atomkernen, durch. In sogenannten Kleinwinkelstreuungsinstrumenten verhalten sich Neutronen wie eine Welle, also wie Licht – allerdings mit einer wesentlich kürzeren Wellenlänge. So kann man mit ihnen Strukturen analysieren wie in einem extrem hochauflösenden Mikroskop.

Andere Instrumente, wie etwa Neutronen-Spin-Echo-Spektrometer und Rückstreu-Spektrometer, zeigen die Dynamik in den untersuchten Materialien – etwa deren Elastizität oder die Bewegungen der Moleküle in viskosen Substanzen. Neutronen verhalten sich in diesem Fall wie Teilchen. In Stoßprozessen nehmen sie Bewegungsenergie auf oder geben sie ab. Daraus können die Forscher auf die Geschwindigkeiten der Atome schließen. „Durch Neutronen erfahren wir, wo die Atome sind und wie sie sich bewegen“, resümiert Prof. Dieter Richter, Direktor des JCNS.

Darüber hinaus lassen sich mit Neutronen einzelne Moleküle in einem Gemisch



Mit dem Neutronen-Spin-Echo-Spektrometer (rechts) können Forscher ermitteln, wie sich Atome in Materialien bewegen. Auch Magnete, die aus einem einzigen Riesenmolekül bestehen (oben), werden mit Hilfe von Neutronen erforscht.



sichtbar machen: Indem man ihre Wasserstoffatome gegen schweren Wasserstoff – Deuterium – austauscht, werden sie „angefärbt“, denn die Neutronen interagieren stark unterschiedlich mit beiden Formen des Wasserstoffs.

HIGHTECH FÜRS HANDWERK

Einer, der sich diese Möglichkeit zu nutze macht, ist der Jülicher Chemiker Dr. Jörg Stellbrink. Er erforscht komplexe Flüssigkeiten, also Gemische aus verschiedenen Polymeren, sowie Kolloide – das sind fein verteilte Partikel oder Tröpfchen in einer Flüssigkeit. Wie solche Gemenge sich verhalten, ist wegen unzähliger Wechselwirkungen auf molekularer Ebene schwer zu analysieren, aber von großer Bedeutung. Zu ihnen zählen so alltägliche Flüssigkeiten wie Dispersionsfarben, Schmelzen in der Kunststoffproduktion und auch das Blut in unseren Adern. In Neutronenstreu-

experimenten konnte Stellbrinks Team Belege für eine Theorie finden, die die mannigfachen Wechselwirkungen radikal vereinfacht und auf Kräfte zwischen den Schwerpunkten der jeweiligen Moleküle reduziert. Mit dieser Theorie können dann Materialeigenschaften sehr viel einfacher vorhergesagt werden. Aufgestellt hatten sie Forscher der Universität Wien, mit denen die Jülicher Gruppe kooperiert. Mit Neutronenstreuexperimenten am Institut Laue-Langevin konnten die Jülicher Wissenschaftler zeigen: Einzelne mit Deuterium markierte Polymer-Moleküle verhalten sich in der komplexen Mischung tatsächlich so, wie die Theorie es vorausgesagt hatte.

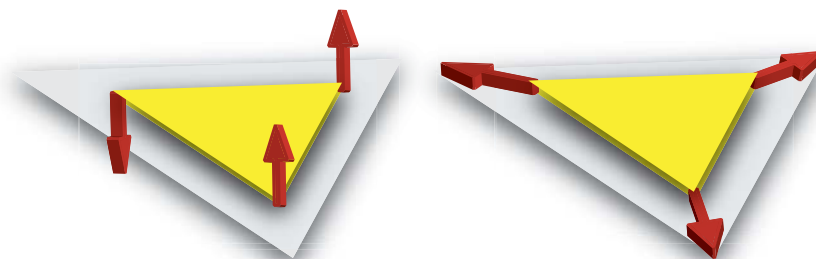
Das Forschungsgebiet erstreckt sich auch auf den Alltag. So hat der Jülicher Chemiker Dr. Jürgen Allgaier gemeinsam mit einem mittelständischen Unternehmen einen umweltfreundlichen Pinselreiniger entwickelt. Wesentlicher Bestand-

teil ist ein zugesetztes Polymer. Es besitzt ein wasser- und ein fettliebendes Ende, wie herkömmliche waschaktive Substanzen (Tenside) auch, nur ist das Molekül bis zu hundertmal länger. Der Clou: Wenn man es mit Tensiden mischt, verstärkt es deren Wirkung. So lässt sich eine stabile Mischung – eine Mikroemulsion – aus Wasser, pflanzlichen Ölen und dem Additiv herstellen, die Farb- oder Klebstoffreste genauso gut löst wie herkömmliche Pinselreiniger – nur ohne gesundheitsschädliche Lösungsmittel.

DREH FÜR DIE IT

Neutronen haben noch eine weitere wichtige Eigenschaft: Sie besitzen ein magnetisches Moment, den Spin. Daher „spüren“ sie die atomare Anordnung der elementaren Magnete in einem Material und eignen sich ideal zur Erforschung des Magnetismus. „Fast alles, was wir über magnetische Strukturen und über die Bewegung der elementaren Magnete wissen, stammt aus Neutronenstreuexperimenten. Und sie sind auch hervorragend geeignet, uns Wege in die nächste Revolution der Informationstechnologie zu öffnen“, sagt Dieter Richter.

Dr. Zhendong Fu hat in seiner Doktorarbeit am JCNS Magnete untersucht, die aus einem einzigen kugelförmigen Riesenmolekül bestehen, einem sogenannten Polyoximetallat. Es besitzt 30 magnetische Eisenatome, die in Fünferingen und Dreiecken angeordnet sind. Die Spins benachbarter Eisenatome richten



Die magnetischen Momente von benachbarten Eisenatomen – symbolisiert durch die roten Pfeile – sind bestrebt, sich jeweils entgegengesetzt auszurichten. In einer dreiecksförmigen Anordnung (links) kann ihnen das nicht gelingen. Daher sind sie „frustriert“ (Fachsprache) und orientieren sich beispielsweise so, wie rechts gezeigt.

sich eigentlich stets antiparallel – also entgegengesetzt – aus. Doch das ist aus geometrischen Gründen nicht möglich (siehe Grafik S.36) „Solche frustrierten Ordnungen sind vor allem für die Grundlagenforschung hochinteressant“, sagt Fu. Die molekularen Magnete ließen sich aber auch gut im Hinblick auf künftige Anwendungen anpassen: Sie sind gleich groß und lassen sich chemisch variieren. Mögliche Einsatzgebiete sind zukünftige Datenspeicher mit enormer Dichte und Bauteile von Quantencomputern.

PHÄNOMEN SUPRALEITUNG

Der Spin der Neutronen könnte auch Aufschluss geben über das Phänomen der Supraleitung, das Wissenschaftler schon seit hundert Jahren fasziniert. Damals entdeckte der niederländische Physiker Heike Kamerlingh Onnes, dass Quecksilber unterhalb von rund -269 Grad Celsius verlustfrei Strom leitet. Seither wurden etliche supraleitende Materialien gefunden, darunter auch die Hochtemperatursupraleiter – ursprünglich ausschließlich Kupferoxidverbindungen. Diese zeigen „schon“ bei Temperaturen von deutlich über -200 Grad Celsius supraleitende Eigenschaften – aus Gründen, die bis heute nicht verstanden sind. Diese Materialien lassen sich relativ günstig mit flüssigem Stickstoff kühlen, doch Stromkabel ohne Widerstand bei Raumtemperatur blieben bisher eine Vision.

Die Jülicher Neutronenforscher Dr. Shibabrata Nandi und Dr. Yinguo Xiao untersuchen eine ganz neue Klasse von Hochtemperatursupraleitern, deren Grundstruktur aus Eisen und Arsen besteht. „Mit diesen Verbindungen begann das ‚Eisenzeitalter‘ der Supraleitung“, sagt Prof. Thomas Brückel, Direktor am Peter Grünberg Institut und am JCNS. „Sie ermöglichen einen ganz neuen Zugang zu dem komplexen Problem der Hochtemperatursupraleitung.“

Die Eisenverbindungen verlieren ihren Widerstand bei rund -220 Grad. Auch ihre supraleitenden Eigenschaften lassen sich nicht mit herkömmlichen theoretischen Modellen erklären. Viele Fachleute gehen aber davon aus, dass dieses rätselhafte Verhalten auf „fluk-

tuierenden Spins“ beruht, also darauf, dass die Spins ihre Orientierung ändern. Diese Form der Supraleitung hängt demnach mit der magnetischen Ordnung zusammen. Die Jülicher Experimente mit Neutronen liefern wesentliche atomarmikroskopische Informationen, die entscheidend dazu beitragen, dieses physikalische Phänomen zu erklären.

Die Jülicher Forscher untersuchen beispielsweise, wie sich die magnetische Struktur der Supraleiter mit der Temperatur ändert. „Unsere Experimente erleichtern auch die Suche nach geeigneten Materialien für den praktischen Einsatz“, sagt Shibabrata Nandi. Ein Vorteil der eisenbasierten Supraleiter, mit denen er arbeitet: Sie sind – im Gegensatz zu vielen anderen Hochtemperatursupraleitern – metallisch und lassen sich vergleichsweise gut zu Drähten verarbeiten. Wenn es gelingt, die Übergangstemperatur zur Supraleitung noch um weitere 30 Grad zu erhöhen, könnte dieses Material für Stromkabel infrage kommen.

Vom weiteren Nutzen der Neutronen

Neben der Materialforschung werden Neutronen in vielen anderen Bereichen eingesetzt:

- Strukturanalyse von Biomolekülen
- Bestrahlung von Tumoren
- Nachweis von Umweltschadstoffen
- Zerstörungsfreie Werkstoffprüfung
- Produktion von Radionukliden für Medizin und Forschung

„Eine mögliche Anwendung wären aber in wenigen Jahren schon bessere supraleitende Spulen für Magnetresonanztomografen“, hofft Nandi.

Wiebke Rögner



Die Wirkung eines herkömmlichen Pinselreinigers (links) im Vergleich mit der eines Reinigers, den Jülicher Wissenschaftler wesentlich mitentwickelt haben.

Nachhaltige Bioökonomie erforschen

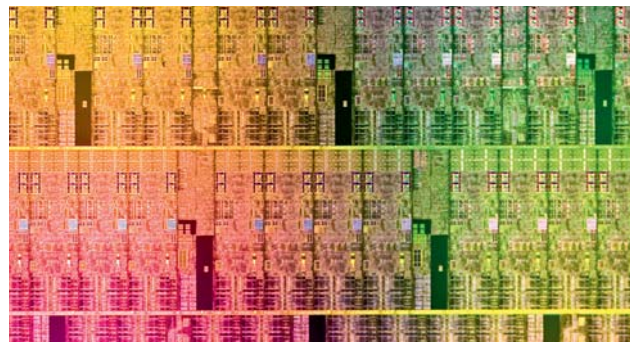


Pflanzen sollen in Zukunft ausreichend Nahrungsmittel, biobasierte Materialien, Chemikalien und Kraftstoffe liefern. In dem 2010 gegründeten Bioeconomy Science Center (BioSC) erforschen mehr als 1200 Wissenschaftler, wie dies mit einer nachhaltigen Bioökonomie gelingen kann. Die feierliche Präsentation des Verbunds im September 2011 wurde auch von hochrangigen Repräsentanten aus der Politik besucht. Sie begrüßten das europaweit einzigartige Konzept, mit dem das Forschungszentrum Jülich, die Universitäten Bonn und Düsseldorf sowie die RWTH Aachen auf dem zukunftsweisenden Gebiet der Bioökonomie zusammenarbeiten.

www.biosc.de

Tausendmal schneller rechnen

Eine Trillion Rechenoperationen pro Sekunde – ein Exaflop/s – soll ein Supercomputer im Jahr 2020 durchführen können. Damit wäre er tausendmal schneller als heutige Geräte. Doch die bisherigen Konzepte zur Beschleunigung lassen sich nicht unbegrenzt ausreizen, ohne dass Aufwand und Kosten übermäßig steigen. Im gerade gestarteten EU-Projekt DEEP entwickelt das Forschungszentrum Jülich daher gemeinsam mit 14 europäischen Partnern eine neue Plattform für Exaflop-Rechner. An dem Projekt sind unter anderem die Unternehmen Intel und ParTec beteiligt, mit denen Jülich schon seit 2010 im ExaCluster Laboratory eng kooperiert.



Grüne Informationstechnik

Lange galt für Supercomputer-Zentren ausschließlich das Motto „nur die (Rechen-)Geschwindigkeit zählt“. Doch wie in der Formel 1 rückt nun zunehmend der Energieverbrauch in den Blickpunkt. Die Forscher des Jülich

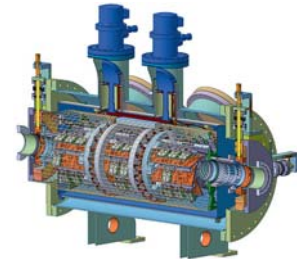
Supercomputing Centre arbeiten auf vielfältige Weise an „grüner“ Informationstechnik: So testen sie neue, besonders effiziente Kühltechniken. Außerdem entwickeln sie innerhalb des europäischen Forschungsverbundes

„Fit4Green“ eine Software, mit der sich die verschiedenen Aufträge der Supercomputer-Nutzer besonders energiesparend abarbeiten lassen, ohne die Rechenleistung zu verringern.

www.fit4green.eu



Beschleuniger für Antimaterie



Über ein Dutzend Länder sind an FAIR, der „Facility for Antiproton and Ion Research“, beteiligt. Das Beschleunigerzentrum in Darmstadt soll ab 2018 neuartige Experimente ermöglichen, um die Entwicklung des Universums und den Aufbau der Materie und ihres Widerparts, der Antimaterie, zu erforschen. FAIR wird mehr als eine Milliarde Euro kosten und insgesamt zwei Linear- und acht Kreisbeschleuniger umfassen. Jülicher Physiker und Ingenieure konzipieren mit dem Zentrum für „Antimaterie-Physik“ den zweitgrößten davon mit einem Umfang von 575 Metern – sein Name: HESR. Derzeit testen die Forscher zentrale Komponenten und Detektoren am Jülicher Synchrotron COSY.

www.ess-scandinavia.eu

www.fair-center.de

Stärkste Neutronenquelle der Welt

Im südschwedischen Lund wird ab 2019 mit der Europäischen Spallationsquelle ESS eine Anlage in Betrieb gehen, mit der Naturwissenschaftler aller Disziplinen neue Einblicke in die Materie erhalten. Zurzeit werden die bestehenden Pläne für die dann weltweit stärkste Neutronenquelle optimiert. Jülicher Wissenschaftsmanager koordinieren dabei den deutschen Beitrag. Außerdem profitiert die ESS von den Erkenntnissen, die Jülicher Forscher heute schon beim Betrieb von Instrumenten an den international führenden Neutronenquellen FRM II, ILL und SNS gewinnen.

www.ess-scandinavia.eu



Grundstein für Nanoelektronik-Labor

Auf dem Campus des Forschungszentrums Jülich entsteht bis 2013 eines der modernsten Nanoelektronik-Labore Europas, in das rund 25 Millionen Euro investiert werden. Die „Helmholtz Nanoelectronic Facility“ wird eine Reinraumfläche

von rund 1000 Quadratmetern haben. Sie soll Forschern die Entwicklung neuer Materialien, Prozesse und Strukturen im Nanometerbereich ermöglichen – als Grundlage für neuartige Sensoren, Prozessoren und Datenspeicher der Zukunft.

IMPRESSUM

Forschen in Jülich Magazin des Forschungszentrums Jülich, ISSN 1433-7371 **Herausgeber:** Forschungszentrum Jülich GmbH | 52425 Jülich **Konzeption und Redaktion:** Dr. Frank Frick, Dr. Anne Rother (v.i.S.d.P.), Dr. Barbara Schunk, Tobias Schlöber, Annette Stettien, Erhard Zeiss **Autoren:** Brigitte Stahl-Busse, Dr. Frank Frick, Dr. Wiebke Rögner, Dr. Axel Tillemans, Prof. Knut Urban **Grafik und Layout:** SeitenPlan GmbH, Corporate Publishing, Dortmund **Bildnachweis:** Forschungszentrum Jülich (Titelbild, S. 2/3, S. 4 u. li., S. 7 o. li., S. 9 o. (drei Bilder im Kreis), S. 10 – 12, S. 14 – 17, S. 19/20, S. 22 o. m. und o. re., S. 23 o. li., o. re., u. li. und u. re., S. 24/25, S. 28, S. 29 o. li., S. 30 – 32, S. 35, S. 36. o. li., S. 37, S. 38 o., S. 39 o. re. und u.), Lightspring/Shutterstock.com (S. 4 o.), Airbus S.A.S. (S. 4 u. re.), Universität Hamburg (S. 6 li.), Rolls-Royce (S. 6 re.), iStockphoto/Thinkstock.com. (S. 7 u., S. 29 o. großes Bild), Hermes (S. 7 o. re.), Hemera/Thinkstock.com (S. 8 o.), Universität Köln (S. 8. u.), Acatech (S. 13), Bayer AG (S. 18), Privat (S. 21, 27, 33), sdtb.de, C. Kirchner (S. 22 o. li.), Anna Kucherova/Shutterstock.com (S. 23 o. m.), Anselm Horn, Universität Erlangen (S. 29. u. li.), ACS Chem. Neurosci. (2010), 1, 639-648 (S. 29. u.), ArchMan/Shutterstock.com (S. 34), Oak Ridge National Laboratory (S. 36 o. re.), Intel (S. 38 u.), ESS AB (S. 39 o. li.) **Kontakt:** Geschäftsbereich Unternehmenskommunikation | Tel.: 02461 61-4661 | Fax: 02461 61-4666 | E-Mail: info@fz-juelich.de **Druck:** Schloemer Gruppe GmbH **Auflage:** 5 000



Mitglied der:

