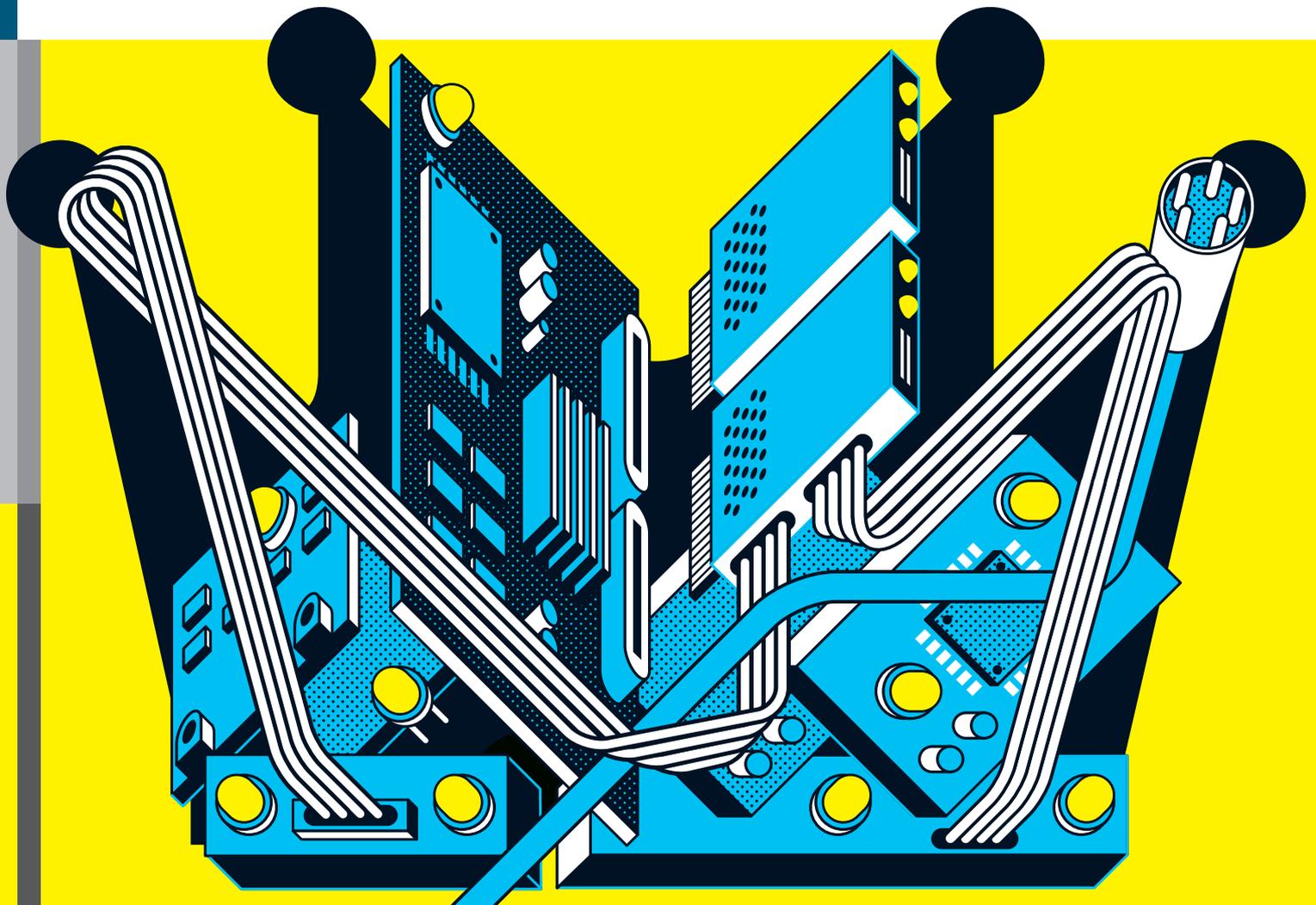


FORSCHEN in Jülich



:: DIE KÖNIGIN DER SUPERCOMPUTER

Mit dieser Queen muss man rechnen!

.....
:: Neuroökonomie: Manager „ticken“ anders
.....

.....
:: Energie speichern mit Silizium und Luft
.....

:: IM BILDE

Zwanzig Meter in der Länge und fünf Meter im Durchmesser misst das Innere der Atmosphärensimulationskammer SAPHIR in Jülich. Ein variables Dach moduliert die Sonneneinstrahlung und schützt den doppelwandigen Teflonschlauch mit 275 Kubikmetern Volumen im Inneren der Kammer. In ihm lassen sich die chemischen Vorgänge in der Atmosphäre simulieren – für Atmosphärenchemiker ein weltweit einmaliges Labor: Hier können sie jede beliebige Luftzusammensetzung einstellen und atmosphärenchemische Prozesse unter natürlichen, aber kontrollierten Bedingungen simulieren. Beobachtungen aus Feld- und Flugmesskampagnen wie PEGASOS – einer europaweiten Forschungsmission mit dem Zeppelin NT – lassen sich in SAPHIR gezielt nachstellen. Ziel dieser Arbeiten ist es, das Verständnis des atmosphärischen Spurengasabbaus zu überprüfen und zu erweitern und so zur Optimierung von Luftqualitäts- und Klimamodellen beizutragen.

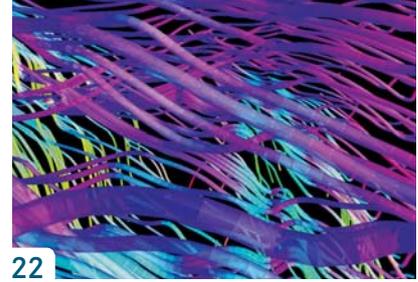




6



16



22

INHALT

:: NACHRICHTEN	4
.....	
:: TITELTHEMA	6
.....	
6 Mit dieser Queen muss man rechnen!	
Audienz bei Europas Königin der Supercomputer	
.....	
:: FORSCHUNG IM ZENTRUM	12
.....	
12 Manager „ticken“ anders	
Wer viel entscheidet, nutzt schnellere Wege im Gehirn	
14 Sternschmelze	
Eine Simulation erklärt, weshalb Sterne verschwinden	
16 Laden ab Mitternacht: Studie zur Elektromobilität	
Wie das Stromnetz sechs Millionen Elektroautos verkraftet	
18 Energie speichern mit Silizium und Luft	
Vielversprechender Hoffnungsträger in der Batterie-Welt	
.....	
:: NACHWUCHS	20
.....	
20 Von der Ader zum Netzwerk	
Ein Nachwuchswissenschaftler erforscht, wie Blutströme fließen	
.....	
:: SCHLUSSPUNKT	22
.....	
22 Informationswege im Gehirn	
Polarisiertes Licht zeigt Nerven	
23 Impressum	

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



Oder direkt mit
dem Tablet QR-
Code scannen:



iOS (iPad)



Android

:: EDITORIAL



Platz 1 in Europa, Platz 5 weltweit: Das ist das erfreuliche Ergebnis für unseren neuen Superrechner JUQUEEN in der TOP500, der Liste der schnellsten Supercomputer der Welt. Als erster Supercomputer Europas erreicht er eine maximale Rechenleistung von 5,9 Petaflops – das sind fast sechs Billionen Rechenoperationen pro Sekunde. Für unsere Forschung bedeutet das, wir haben die Möglichkeit zu aufwendigeren Simulationen und können uns auf noch genauere und aussagekräftigere Ergebnisse freuen. Ein Projekt, dem das zugutekommen wird, ist die Simulation des menschlichen Gehirns. Daran arbeiten wir mit internationalen Partnern im „Human Brain Project“, das gerade erst von der EU als Flagship-Projekt mit großzügigen Fördermitteln ausgestattet wurde. Aber auch die Erforschung neuer Materialien, die Quantenphysik, die Energie- und Klimaforschung werden von der verbesserten Rechenleistung profitieren. Darüber hinaus ist JUQUEEN einer der energieeffizientesten Superrechner weltweit.

Wir freuen uns, Ihnen unsere „Königin der Rechner“ in diesem Heft vorzustellen. Weitere Themen sind: Verschmelzende Sterne, ein neuer Batterietyp, basierend auf Silizium und Luft, und das Entscheidungsverhalten von Managern.

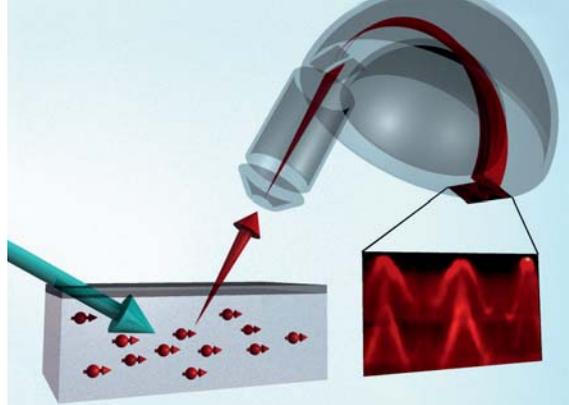
Lassen Sie sich von unserer Forschung überraschen!

Ich wünsche Ihnen eine anregende Lektüre,

Ihr

Prof. Achim Bachem

Vorstandsvorsitzender
des Forschungszentrums Jülich



Energierreiche Photonen (grüner Pfeil) setzen Elektronen aus dem Inneren der Probe frei (roter Pfeil). Die Messung dieser Elektronen lässt Aussagen über die magnetischen Eigenschaften der Probe zu.

Magnetischer Halbleiter unter Beschuss

Wie der Magnetismus in einem der wichtigsten Halbleiter bei tiefen Temperaturen entsteht, berichtete ein internationales Forscherteam unter Beteiligung von Physikern des Forschungszentrums Jülich in der Fachzeitschrift „Nature Materials“. Die Wissenschaftler untersuchten den magnetischen Halbleiter Galliummanganarsenid mit einer kürzlich von ihnen entwickelten Methode. Dabei beschossen sie das Material im stärksten Teilchenbeschleuniger der Welt, dem „Spring-8“ in der Harima Science Garden City in Japan, mit Photonen. Sie konnten so die Eigenschaften von Elektronen tief im Inneren beobachten. Es zeigte sich, dass der Magnetismus zwei konkurrierende Ursachen auf atomarer Ebene hat – ein Ergebnis, das theoretische Vorhersagen aus den vergangenen Jahren nun erstmals experimentell bestätigt.

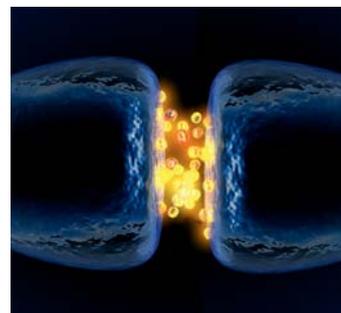
Die elektrischen Eigenschaften von Halbleitern bilden die Basis unserer Informationstechnologie. Könnte man zudem magnetischen Eigenschaften der Elektronen in Halbleitern nutzen, ließen sich Informationen energieeffizienter transportieren.

::

Kontaktpflege im Gehirn

Die Nervenzellen im Gehirn tauschen sich über ein gigantisches Netzwerk von Verbindungen aus, die sogenannten Synapsen. Bislang ist es unklar, wie und wann diese Kontaktstellen entstehen oder wieder verschwinden. In der Fachzeitschrift „PLOS Computational Biology“ präsentieren Neurowissenschaftler vom Bernstein Center Freiburg und vom Institut für Neurowissenschaften und Medizin am Forschungszentrum Jülich eine

neue Erklärung. Mit Hilfe theoretischer Modelle haben sie einen Mechanismus entdeckt: Sind zwei Nervenzellen bereits durch mehrere Kontakte miteinander verbunden, bauen sie beim Informationsaustausch eine zusätzliche Verbindung auf. Das Entscheidende: Die neue Synapse bleibt nur bestehen, wenn die beiden Nervenzellen in einer bestimmten Reihenfolge aktiv werden. Andernfalls bildet sie sich zurück.



Von Synapse zu Synapse werden Informationen im Gehirn weitergeleitet.

::

Wie Honig aufs Brot

Fadenförmige Moleküle, wie etwa die DNS, kringeln sich zu Spiralen, wenn sie durch mikroskopisch kleine Kanäle fließen. Welche Kräfte diese Verformung bewirken, erläuterten Jülicher Wissenschaftler in der Fachzeitschrift „Physical Review Letters“. Das Strömungsverhalten solcher Moleküle zu verstehen, ist beispielsweise wichtig für die Entwicklung medizinischer (Einmal-) Tests, bei denen winzige Mengen von Blut oder anderen Flüssigkeiten durch mikroskopische Kanäle fließen sollen.

Die Forscher hatten die Bewegung der kettenförmigen Moleküle durch eine Röhre mit variierendem Durchmesser simuliert. Während die Fadenmoleküle die engen Abschnitte nahezu gestreckt durchquerten, krümmten sie sich bei Aufweitung der Röhre und formten schließlich eine Spirale. Die Ursache dafür ist eine geringere Fließgeschwindigkeit in dem weiteren Teil der Röhre: Der vordere Teil der Molekülkette wird langsamer, während der folgende Teil mit unverminderter

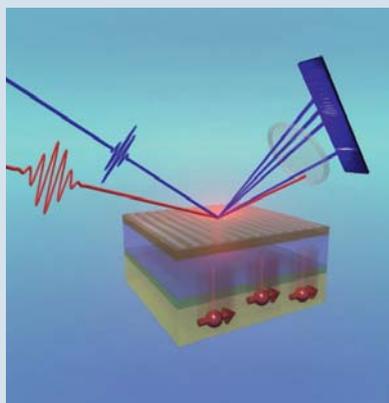
Geschwindigkeit nachrückt und sich dabei „aufrollt“. Wie die entstehende Spirale aussieht, hängt von Faktoren ab wie der Biegsamkeit der langkettigen Moleküle, ihrer Fließgeschwindigkeit und dem Verhältnis der Röhrendurchmesser.

Ein ähnliches Phänomen der Spiralbildung kann auch im täglichen Leben beobachtet werden, wenn Honig vom Löffel auf das morgendliche Brot fließt. ::

Auch fadenförmige Moleküle können sich beim Fließen zu Spiralen kringeln.



Effiziente Speicher dank „heißer“ Spins

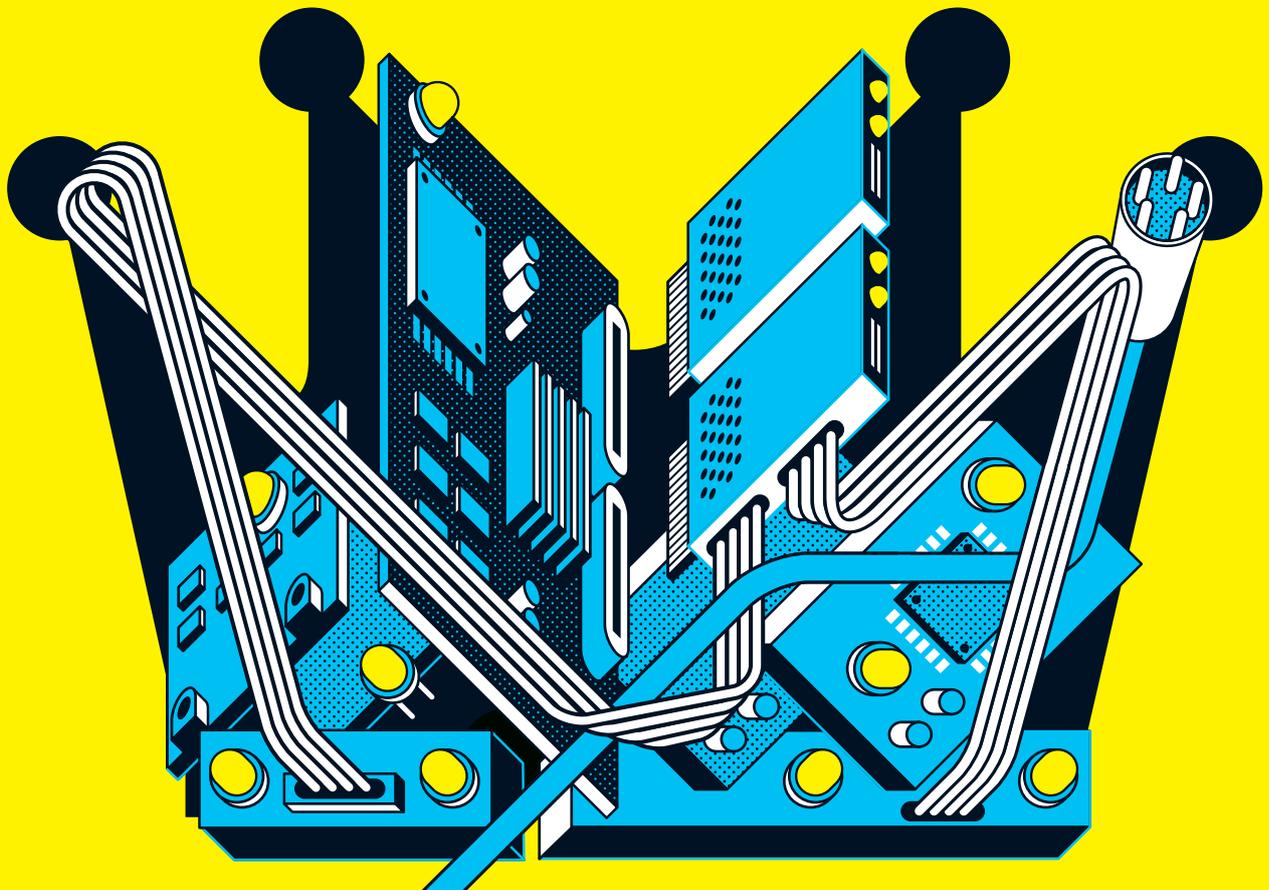


Durch Laserpulse angeregte Spinströme (rote Pfeile) können die Magnetisierung von Schichten verstärken.

Ein internationales Forscherteam, an dem auch Jülicher Wissenschaftler beteiligt sind, hat in einem System aus magnetischen Schichten einen neuen physikalischen Effekt entdeckt. Dieser Effekt, bei dem „heiße“ Spinströme erzeugt werden, könnte neue Wege für die Computertechnologie eröffnen. Auf Spins von Elektronen basieren die magnetischen Eigenschaften von Materialien.

Spins sollen künftig verstärkt zum magnetischen Speichern von Informationen eingesetzt werden. Der neue Effekt könnte in Zukunft für eine neue Generation von ultraschnellen energieeffizien-

ten Computerspeichern mit hoher Speicherkapazität genutzt werden. Die Forscher haben festgestellt, dass kurze Laserpulse die Magnetisierung von Schichten nicht nur schwächen, sondern auch verstärken können. Das hängt davon ab, ob die übereinanderliegenden Magnetschichten am Anfang antiparallel oder parallel ausgerichtet waren. Die Laserpulse sorgen dafür, dass sich „heiße“ Spins extrem schnell bewegen und dadurch Spinströme verursachen. Nun suchen die Forscher nach Materialien, die stärkere Spinströme entwickeln, und nach Möglichkeiten, die Spinströme gezielt zu leiten.



Mit dieser Queen muss man rechnen!

JUQUEEN hat in Jülich Einzug gehalten. Hier trifft Europas Königin der Rechner auf herausragende Wissenschaftler, von denen sie perfekt für die fachspezifische Forschung eingesetzt wird. Sie findet eine Organisation vor, die Forscher aus ganz Europa bei Computersimulationen unterstützt – und Experten, die bereits an den energieeffizienten Höchstleistungscomputern der Zukunft arbeiten.

JUQUEEN ist leistungsstärker als 90.000 PCs und schneller als sein Vorgänger, der Superrechner JUGENE. Doch den Strom-Hauptanschluss und den Vertrag mit dem Energieversorger musste das Forschungszentrum beim Wechsel vom Superrechner JUGENE zu JUQUEEN nicht antasten: Der neue Rechner, in dem ein Blue Gene/Q-System des Herstellers IBM steckt, verbraucht durchschnittlich sogar weniger

Strom als sein Vorgänger. Und das, obwohl seine Rechenleistung um etwa das Sechsfache höher ist.

Ein Grund für diese Effizienz sind die 458.752 Prozessorkerne von JUQUEEN. Jeder einzelne von ihnen ist langsamer als die Kerne, die in aktuellen PCs zu finden sind. Die Entwickler von JUQUEEN haben auf solche Kerne gesetzt, weil der Stromverbrauch eines Rechenkerns mit abnehmender Taktfrequenz deutlich stär-

ker sinkt als die Rechenleistung. Wegen der Vielzahl der Kerne arbeitet das Gesamtsystem JUQUEEN trotzdem außerordentlich schnell. Wichtig ist dabei, dass Rechenkerne, Verbindungsnetzwerk und Hauptspeicher perfekt aufeinander abgestimmt sind.

„Ein weiteres Geheimnis der Energieeffizienz von JUQUEEN liegt in der direkten Wasserkühlung, bei der das Kühlwasser die Wärme anders als beim Vorgänger



Äußerlich ist Europas Königin der Rechner eher unscheinbar und schwergewichtig: 2.100 Kilogramm bringt jeder der insgesamt 28 Computerschränke auf die Waage. Doch was zählt, sind die inneren Werte.

JUGENE direkt von den Rechenkernen abführt“, weiß Dr. Thomas Fieseler vom Jülich Supercomputing Centre (JSC). Das Kühlwasser muss demineralisiert sein, um Schäden an den feinen Wasserleitungen zu den Computerchips zu vermeiden. Daher bauten die Techniker des Forschungszentrums einen geschlossenen Wasserkreislauf auf, der 150.000 Liter Wasser pro Stunde durch den Rechner pumpt.

KEINE RECHENZEIT VERLIEREN

„Die Herausforderung bestand aber weniger in den einzelnen technischen Umstellungen als vielmehr in der Logistik und dem sehr engen Zeitplan“, sagt Fieseler, Leiter der Abteilung Technologie des JSC. Neben der Anpassung der Wasserkühlung verlegten die Techniker für JUQUEEN 112 Stromanschlüsse und rund 4.400 Meter Leitungen mit einem

Gesamtgewicht von fast 8.000 Kilogramm. Sie verstärkten außerdem den Boden des Supercomputing-Zentrums. Jeder Quadratmeter des normalen Doppelbodens kann zwar 500 Kilogramm Gewicht tragen. Die Computerschränke – Fachjargon: Racks – von JUQUEEN mit ihrer Grundfläche von 1,5 Quadratmetern wiegen aber 2.100 Kilogramm.

„Der Zeitplan wurde nahezu ohne Puffer aufgestellt, damit der Wechsel auf JUQUEEN mit möglichst geringem Rechenzeitausfall verbunden war“, so Fieseler. Schließlich benötigen Wissenschaftler des Forschungszentrums, der Jülich Aachen Research Alliance, aus Deutschland und ganz Europa dringend die Rechenzeit auf den Computern am JSC (siehe auch „Wer darf auf JUQUEEN rechnen?“). „Dass auf jeder dieser Ebenen Kommissionen existieren, die Rechenzeit nach der wissenschaftlichen

Wer darf auf JUQUEEN rechnen?

Der neue Jülicher Spitzenrechner steht Wissenschaftlern aus ganz Europa offen. Zwei Drittel der Rechenzeit werden über zwei Supercomputing-Verbünde vergeben: Der eine heißt „Gauss Centre for Supercomputing“ (GCS) und ist ein Zusammenschluss der drei nationalen Höchstleistungsrechenzentren in Jülich, Garching und Stuttgart. Der andere ist die „Partnership for Advanced Computing in Europe“ (PRACE). Ein weiteres Drittel Rechenzeit steht Wissenschaftlern des Forschungszentrums Jülich und der Jülich Aachen Research Alliance (JARA) zur Verfügung.

Hilfe für viele Fachrichtungen

Momentan gibt es sie für die Biologie, die Plasmaphysik, die Teilchenphysik, die Neurowissenschaften, die Klimaforschung, die Ingenieurwissenschaften, für Molekularphysik und Quantenchemie: die SimLabs. Darin sind JSC-Mitarbeiter organisiert, die das jeweilige Fach studiert haben und zugleich an Simulationsmethoden und Algorithmen für Supercomputer forschen. Vor allem aber helfen sie anderen Wissenschaftlern ihres Faches, die Supercomputer optimal zu nutzen.



Qualität der entsprechenden Anträge vergeben, macht deutlich, wie begehrt diese Rechenzeit ist“, sagt Dr. Norbert Attig, Leiter der Abteilung Anwendungsunterstützung des JSC. Bei längerem Supercomputer-Ausfall bestünde unter anderem die Gefahr, dass Wissenschaftler wichtige Projekttermine nicht einhalten und Ergebnisse nicht wie geplant veröffentlichten können.

Daher betrieben die Jülicher Supercomputer-Experten JUGENE und die erste Ausbaustufe von JUQUEEN zeitweilig parallel. IBM lieferte die ersten 8 von insgesamt 28 Racks bereits Mitte April 2012. Nachdem sie aufgebaut waren, prüften die Experten vom JSC in den nächsten vier Wochen ihre Funktion, Leistung und Verfügbarkeit.

„Dazu setzten wir Tests ein, von denen wir einige selbst entwickelt haben“, berichtet Klaus Wolkersdorfer, Leiter der Abteilung High-Performance-Systeme. Nachdem die Prüfungen erfolgreich

absolviert waren, nahmen die acht Racks ihren offiziellen Betrieb auf. Weil sie den Forschern und ihren Projekten bereits mehr Rechenleistung boten als der gesamte JUGENE, konnte dieser am 31. Juli 2012 endgültig abgeschaltet werden.

MEHR RECHENKNOTEN

Einer der Wissenschaftler, der JUQUEEN in der ersten Ausbaustufe nutzte, ist Dr. Robert Jones. Der Physiker vom Jülicher Peter Grünberg Institut erforscht Materialien, die in wiederbeschreibbaren optischen Speichern wie DVD-RW und Blu-Ray Discs eingesetzt werden und außerdem für künftige Computerspeicher interessant sind. Laserpulse können diese sogenannten Phasenwechselmaterialien innerhalb von milliardstel Sekunden zwischen einem geordneten kristallinen und einem ungeordneten amorphen Zustand hin- und herschalten.



Während des Aufbaus gewährte JUQUEEN tiefe Einblicke in sein Innenleben.

Durch Simulationen, die auf quantenmechanischen Theorien beruhen, haben Jones und seine Kollegen bereits wesentlich das Verständnis der Vorgänge verbessert, die in zwei wichtigen Familien der Phasenwechselmaterialien ablaufen. Die Software, die Jones verwendet, hat IBM mit seiner Unterstützung an JUQUEEN angepasst. Dadurch konnte der Jülicher Physiker schon sehr bald nach der Inbetriebnahme von JUQUEEN eine große Anzahl von Rechenknoten effektiv für seine Berechnungen einsetzen. „Somit sind wir in der Lage, mehr Atome einzubeziehen, einen längeren Zeitraum zu simulieren und mehrere Materialsysteme gleichzeitig zu untersuchen“, freut sich Jones. Die Folge: Die Ergebnisse werden genauer, aussagekräftiger und experimentell nachvollziehbar.

Jones ist überzeugt, dass zunehmendes Wissen über die Vorgänge in Phasenwechselmaterialien hilft, Datenspeicher zu verbessern. Weiter sagt der Forscher,



Hirnforscher Prof. Markus Diesmann (links) und Materialforscher Dr. Robert Jones setzen auf die Rechenkraft von JUQUEEN.

der in Australien geboren wurde: „Ich hatte die letzten 35 Jahre nie das Gefühl, dass konkurrierende Wissenschaftler irgendwo in der Welt mir und meinen Kollegen gegenüber einen Vorteil hatten. Denn wir hatten hier in Jülich immer Zugang zu der jeweils neuesten Generation der besten Computer.“

JUQUEEN IST TOP

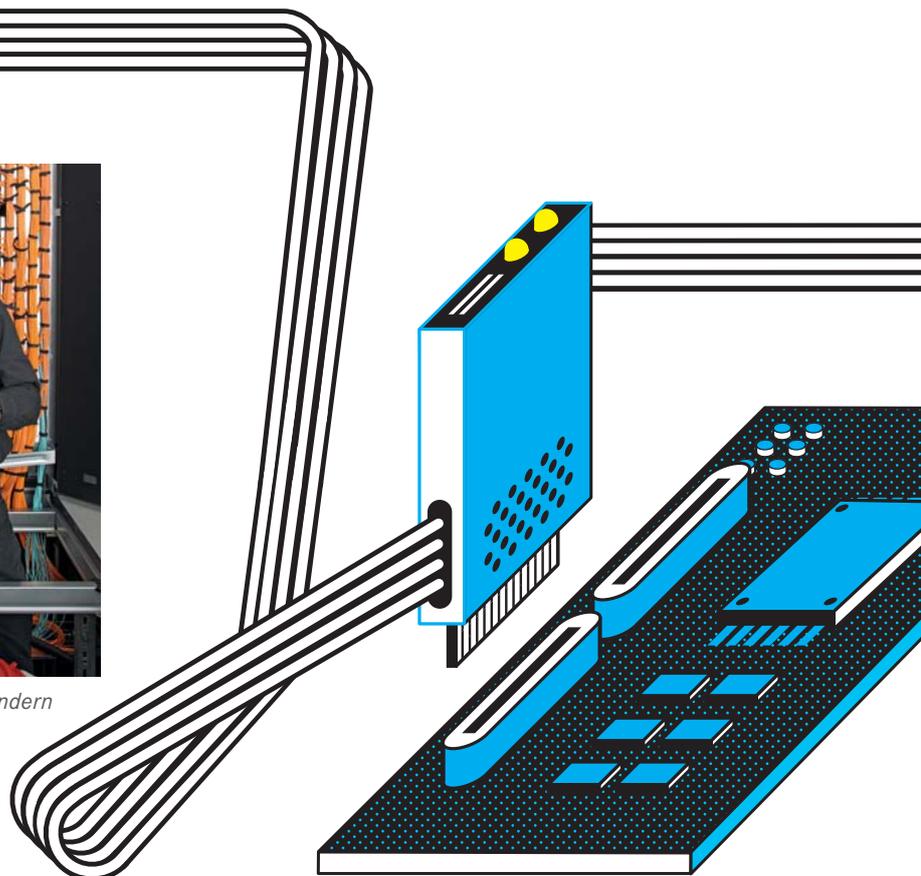
Dass JUQUEEN hierzu zählt, zeigte sich im November 2012. 16 weitere JUQUEEN-Schränke nahmen – zusammengeschaltet mit den 8 ursprünglichen Racks – den Dienst auf. Bereits in dieser zweiten Ausbaustufe belegte JUQUEEN

Platz 5 auf der TOP500-Liste der schnellsten Superrechner der Welt. Zugleich bestätigte die Liste, dass JUQUEEN als erster Supercomputer Europas pro Sekunde mehr als fünf Billionen Rechenoperationen durchführen kann. Die Dimension dieser Leistung ist nahezu jenseits unseres Vorstellungsvermögens: Würde JUQUEEN bei jeder Rechenoperation einen Millimeter vorrücken, so würde er in einer Sekunde einmal das Sonnensystem durchqueren – von der Sonne bis zum Zwergplaneten Pluto.

Anfang dieses Jahres hat Superrechner JUQUEEN mit vier weiteren Racks sein endgültiges maximales Leistungs-



Er hatte nicht nur die Kabel, sondern vor allem den knappen Zeitplan bei der JUQUEEN-Installation fest im Griff: Dr. Thomas Fieseler vom JSC.





Er könnte für seine Forschung alle 458.762 Prozessoren von JUQUEEN effizient nutzen: Plasmaphysiker Dr. Paul Gibbon.

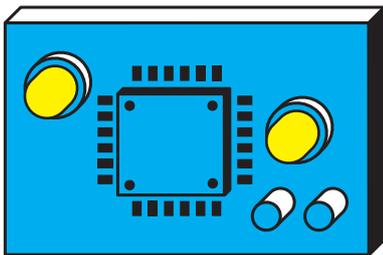
vermögen von 5,9 Petaflops erreicht. Damit Simulationen es ausnutzen können, müssen sie sich gut „skalieren“ lassen, wie es im Fachjargon heißt: Die Geschwindigkeit der Berechnungen sollte annähernd proportional zur Zahl der eingesetzten Rechenkerne wachsen, ohne dass der notwendige zusätzliche Datenverkehr und das Warten auf benötigte Daten überhandnehmen. Gut skalierbar sind beispielsweise Simulationen, wie sie Wissenschaftler um Dr. Paul Gibbon vom Simulation Laboratory (SimLab) Plasmaphysik durchführen. Die Wissenschaftler erforschen die Möglichkeit, mittels Hochleistungslasern Teilchen aus dünnen Folien freizusetzen. Auf diese Weise lassen sich womöglich kompakte Teilchenbeschleuniger bauen, die etwa in Krankenhäusern zur Strahlentherapie eingesetzt werden könnten.

Stünde Gibbon zeitweilig der ganze Rechner JUQUEEN zur Verfügung, könnte er ohne statistische Näherung die mehr als 100 Milliarden Teilchen simulieren, die sich in 10 Quadratmikrometern

einer Nanometer-dünnen Folie befinden. „Auf diese Weise könnten wir erstmals ein numerisches realitätsgetreues Experiment verwirklichen, in dem wir die Eigenschaften des Ionenstrahls in Abhängigkeit von der Foliendicke untersuchen – entsprechend einem echten Laborexperiment“, so Gibbon.

MEHR SPEICHER FÜR HIRNMODELL

Auch die Hirnforscher um Prof. Markus Diesmann werden künftig von JUQUEEN profitieren. „Wir haben bereits zeigen können, dass unsere Software NEST die Parallelität von 100.000 Rechenknoten ausnutzen kann“, sagt Diesmann. Mit NEST werden einzelne Nervenzellen im menschlichen Gehirn mathematisch beschrieben. Die Wissenschaftler geben Daten zur Anatomie und zu den elektrischen Eigenschaften ein und erhalten als Ergebnis eine Vorhersage der Aktivität in bestimmten Hirnregionen. Letztlich geht es den Forschern darum, die Prinzipien besser zu verstehen, nach denen das Gehirn arbeitet. „Für



Königliches Tempo

Rechnergeschwindigkeiten im Vergleich



unsere Simulationen ist aber nicht nur die enorme Rechenleistung des Supercomputers JUQUEEN wichtig, sondern auch sein Arbeitsspeicher, der mehr Platz für Daten bietet als sein Vorgänger“, erläutert Diesmann. Damit können die Forscher größere Regionen des Gehirns simulieren als bislang und so auch Verbindungen zwischen weit entfernten Nervenzellen in ihr Modell einbeziehen.

„Die Erfahrung lehrt, dass man mit einer neuen Supercomputer-Generation bei Simulationen nicht nur genauer und besser wird, sondern dass man außerdem plötzlich auf überraschende Phänomene stößt, die erst mit der Größe des simulierten komplexen Systems beobachtbar werden“, sagt Prof. Thomas Lippert, Leiter des JSC. Damit Wissenschaftler der verschiedensten Disziplinen das Potenzial der Jülicher Supercomputer wirklich ausschöpfen können, hat er die SimLabs ins Leben gerufen: Darin unterstützt jeweils ein kleines Team von hochqualifizierten Experten, die selbst in der entsprechenden Disziplin forschen und dabei Supercomputer einsetzen, andere Wissenschaftlergruppen (siehe auch „Hilfe für viele Fachrichtungen“).

RECHNER DER ZUKUNFT ENTWICKELN

Doch die Experten des JSC haben sich nicht nur der Aufgabe verschrieben, Superrechner zu betreiben und ihre Nutzer fit zu machen. Sie entwickeln zudem gemeinsam mit verschiedenen Unternehmen die Rechner der Zukunft (siehe auch „Kooperationen mit Firmen“). Bis 2020 soll deren Leistung gegenüber JUQUEEN noch einmal um den Faktor 200 steigen – und zwar ohne dass dabei zugleich der Energieverbrauch steigt. Das Ringen um mehr Energieeffizienz hat ökonomische und ökologische Gründe: Schon heute sind die Kosten für den Betrieb eines Supercomputers ähnlich hoch wie die für die Anschaffung. Und die deutschen Rechenzentren verbrauchen eine Menge Strom, für deren Erzeugung vier mittlere Kohlekraftwerke notwendig sind – mit entsprechendem Ausstoß des Treibhausgases CO₂.



Leiter Prof. Thomas Lippert sieht es als eine wichtige Aufgabe des Jülich Supercomputing Centre, die Energieeffizienz von Superrechnern weiter zu verbessern.

Insofern überrascht es nicht, dass auf dem Arbeitsplan des JSC das Thema Energieeffizienz ganz weit oben steht. Die Mitarbeiter des JSC haben bereits Software-Werkzeuge geschaffen, mit denen sich sichtbar machen lässt, wie viel Strom einzelne Komponenten von Supercomputern wie JUQUEEN während der Simulationen verbrauchen. Das ist wichtig, um die Stellschrauben für künftige Energieeffizienz-Maßnahmen zu identifizieren. Klar ist bereits: „Es gilt, in dieser Hinsicht unter anderem den Zugriff auf die Arbeits- und Massenspeicher sowie auf die Eingabe- und Ausgabeeinheiten weiter zu verbessern“, sagt Technologie-Experte Thomas Fieseler. ::

Dr. Frank Frick

Kooperationen mit Firmen

Das JSC entwickelt im Exascale Innovation Center mit dem Unternehmen IBM Technologien für die Supercomputer der nächsten und übernächsten Generation. Zugleich beschäftigt sich das JSC auch mit künftigen Clustercomputern – modular aufgebaut aus üblichen PC-Komponenten und schnellen Netzwerken. Dafür betreibt es mit den Firmen Intel und ParTec das ExaCluster Laboratory. Schließlich erkundet das JSC mit dem Unternehmen NIVIDA, wie sich Grafikprozessoren für das Höchstleistungsrechnen der Zukunft nutzen lassen.





Manager „ticken“ anders

Ob Aktienhändler, Firmenchefin oder Abteilungsleiter – Manager haben täglich eine Vielzahl von Entscheidungen zu treffen. Offensichtlich beanspruchen sie dabei bestimmte Bereiche in ihren neuronalen Netzwerken stärker als Nicht-Manager. Das zeigt eine Studie von Dr. Dr. Svenja Caspers und ihrem Team vom Forschungszentrum Jülich gemeinsam mit Wirtschaftspsychologen und -soziologen der Universität zu Köln.

Spätestens beim Griff ins Krawattenfach fällt allmorgendlich am Kleiderschrank die erste Entscheidung: bunt oder uni? Man kann darüber länger oder kürzer nachsinnen, je nachdem, welche Termine anstehen oder wie die Stimmung ist. Das Wetter mag auch eine Rolle spielen. Ärzte, Rettungssanitäter oder Manager haben tagtäglich sehr viel komplexere und weitreichendere Entscheidungen zu treffen: im Zweifelsfall über Leben und Tod. Oder über den Erhalt und Verlust von Arbeitsplätzen, Kapital und Existenzen. Und nicht erst seit dem Aufstieg und Fall mancher Investmentbank stellen sich Wirtschaftswissenschaftler die Frage: Wie werden Entscheidungen gefällt?

BLICK INS AKTIVE GEHIRN

Ein junger Forschungszweig sucht nach neuen Antworten: Die Neuroökonomie. Sie verbindet Fragen aus der Wirtschaft mit Erkenntnissen der Gehirnforschung. Die Jülicher Forscherin Dr. Dr. Svenja Caspers kennt sich in beiden Welten aus: Sie hat einen Abschluss in Betriebswirtschaft, in Volkswirtschaft und

in Medizin. Daher ist sie mit Studien über Entscheidungsträger wie Ärzte oder Manager wohlvertraut: „Berufsgruppen, die gezwungen sind, schnell und intuitiv anhand von bestimmten Regeln und

Die erste Entscheidung des Tages: Welcher Schlips darf's heute sein?





Mustern zu entscheiden, wurden bisher rein empirisch – also mit Fragebögen – untersucht“, erklärt Svenja Caspers. Sie wollte es mit ihrem Team genauer wissen und ließ 35 Managerinnen und Manager aus unterschiedlichen Branchen sowie eine passende Vergleichsgruppe aus Arbeitnehmern ohne Führungsposition Entscheidungen fällen. Dabei beobachteten die Forscher per funktioneller Magnetresonanztomografie (fMRT), welche Bereiche des Gehirns während der Entscheidungsfindung besonders aktiv waren.

ENTSCHEIDUNGEN IM SEKUNDENTAKT

„Die Probanden mussten innerhalb von zwei Sekunden einen Begriff aus einem Wortpaar wie ‚Teamwork‘ oder ‚Erfolg‘, ‚Macht‘ oder ‚Loyalität‘ beziehungsweise ‚Sorgfalt‘ oder ‚Kompetenz‘ wählen“, erläutert die Forscherin. Insgesamt galt es, 540 Entscheidungen innerhalb von 22 Minuten zu treffen. Die Probanden sollten sich spontan und rasch entscheiden, welches Wort ihnen eher zusagt; richtig oder falsch gab es nicht. Die Aufgabe scheint leicht, jedoch hat das Gehirn innerhalb weniger Millisekunden eine Menge zu tun: Zeichen leuchten auf, blitzschnell entscheidet das Gehirn, ob es sich um Buchstaben handelt und ob sich daraus Worte ergeben. Welchen Inhalt haben die Worte und welche Be-

deutung haben sie für mich? „Die Begriffe müssen dann noch gegeneinander abgewogen werden und der Proband muss sich entscheiden, welcher Begriff ihn eher anspricht“, beschreibt Svenja Caspers die Situation.

Ein gut eingespieltes neuronales Netzwerk arbeitet die Aufgabe systematisch ab: In verschiedenen Hirnregionen werden visuelle und akustische Informationen verarbeitet, der präfrontale Kortex empfängt und verarbeitet die von dort ankommenden Signale und verknüpft sie mit bereits vorhandenem Wissen. Im sogenannten Nucleus caudatus – auch Schweifkern genannt – werden Handlungsmuster aus der Vergangenheit gesammelt und bei ähnlichen Begebenheiten automatisch abgerufen. Er hilft dabei, Entscheidungen schneller zu treffen. Das kann für Situationen, in denen die gleiche Art von Entscheidungen wiederholt getroffen werden muss, hilfreich sein.

„Grundsätzlich sind die Pfade bei allen Menschen sehr ähnlich aufgebaut“, betont Svenja Caspers. „Es ist nicht so, dass diese Netzwerke bei einigen Menschen gar nicht beschritten werden. Es gibt jedoch eine Verschiebung des Schwerpunkts, an dem im Netzwerk verstärkt gearbeitet wird.“ So ergab die aktuelle Studie, dass der Entscheidungsprozess im Gehirn der Nicht-Manager stufenweise unter Einbeziehung vieler verschiedener Hirnareale ablief. Bei den Managern mit Führungsverantwortung hingegen war verstärkt das Hirnareal des Nucleus caudatus aktiv. Zugleich



Ob schnelle Entscheidungen auch die richtigen sind, lässt die Studie der Jülicher Forscherin Dr. Dr. Svenja Caspers offen.

traf diese Gruppe ihre Entscheidungen auch schneller. Ob sich Manager über Jahre hinweg antrainieren, Entscheidungen verstärkt auf dem „schnelleren“ Weg über den Schweifkern zu treffen, bleibt erst einmal eine Hypothese. „Dies ließe sich lediglich im Rahmen einer Langzeitstudie klären“, gibt Svenja Caspers zu bedenken. Sie fügt an: „Ebenso bleibt zu klären, ob sich derartige Unterschiede in der Beanspruchung bestimmter Hirnareale auch bei komplexeren Entscheidungsszenarien zeigen, beispielsweise in Strategiefindungsprozessen.“ ::

Brigitte Stahl-Busse

Sternenschmelze

Wenn aus zwei Sternen einer wird: Christina Korntreff simuliert, wie Gas und Doppelsterne wechselwirken – und erfährt dabei, was geschieht, wenn sich galaktische Molekülwolken zu Bereichen geringerer Dichte verflüchtigen.

Wer bei guten Bedingungen ins Sternbild Orion schaut, kann jenen Sternhaufen sehen, der für Christina Korntreffs Simulation Modell stand: den Orionnebel-Cluster, eine der produktivsten Sternfabriken in der Umgebung der Sonne.

Solche Cluster entstehen aus riesigen Gaswolken. In ihnen presst die Schwerkraft vor allem Wasserstoffmoleküle zusammen, bis die Atomkerne verschmelzen und die Kernfusion zündet. Dann ist ein Stern geboren.

„In den letzten zehn Jahren wird immer deutlicher, dass Sterne fast ausschließlich in Sternenhaufen, sogenannten Clustern, entstehen“ erklärt Christina Korntreff. Die 28-Jährige promoviert am Jülich Supercomputing Centre (JSC). Sie ist die einzige Astrophysikerin in der

Durch Teleskope schaut Christina Korntreff allenfalls privat. Um die Sterne zu erforschen, simuliert die Astrophysikerin sie stattdessen auf Supercomputern.

Im Orionnebel, hier zu sehen durch das Hubble-Weltraumteleskop, verdichten sich Gase und Sterne. Der farbenfrohe Emissionsnebel ist eine der produktivsten Sternenfabriken der Milchstraße.

ne Doppelsterne sind, während das in den Feldern – wo auch unsere Sonne wandert – nur auf 50 Prozent der Sterne zutrifft.

Wie ein Puzzlestück passt dazu ein anderes Missverhältnis, das die Astrophysikerin zum Ausgangspunkt ihrer Forschung macht: „In den Sternenhaufen umkreisen sich viele Doppelsterne in engen Bahnen, während dies im Feld so viel seltener vorkommt.“ Diese Doppelsterne verschwinden also, wenn sich der Cluster im Lauf der Zeit auflöst und zum Feld wird. Aber warum?

Der Astrophysiker Steven Stahler hat dazu vor zwei Jahren eine Theorie aufgestellt: Das Gas im Cluster bremst die Umlaufbahn der Sterne, bis sie, nach Millionen von Jahren, zu einem größeren Himmelskörper verschmelzen. So wäre das Dasein als Doppelstern nur eine Episode im Leben mancher Sterne, wie das der Raupe beim Schmetterling.

Allerdings sind astronomische Theorien, die eine Entwicklung beschreiben, kaum zu prüfen. Die Prozesse dauern viel zu lang, um sie zu beobachten – falls es mit Teleskopen überhaupt möglich ist. „Es wäre schon praktisch, den Orionnebel in eine Box zu stecken und im Zeitraffer zuzuschauen, was passiert“, meint Christina Korntreff.

Am JSC macht sie genau das – wenn auch nur in groben Zügen. Um dem Verschwinden der Doppelsterne auf die Spur zu kommen, hat sie mit ihren Kollegen auf dem Supercomputer JUROPA einen Sternenhaufen nachgebildet, der die physikalischen Eckwerte des Orionnebels hat: 4.000 Sterne und eine vergleichbare Verteilung von Massen, Umlaufzeiten und Gasen. Eine besondere Herausforderung bei dieser Simulation war die möglichst präzise Berechnung der Gravitationskräfte. Denn Gravitationsgleichungen mit mehr als zwei Körpern sind heikel – man kann sie nur näherungsweise lösen, wie Gleichungen zur Bestimmung der Zahl Pi. Mathematiker sprechen vom N-Körper-Problem. „Hilfreich war, dass ich hier auf einen bereits bestehenden Simulationscode

zurückgreifen konnte. Dieser behandelt besonders enge Doppelsterne gesondert, so dass ihre interne Wechselwirkung nicht die gesamte Simulation verlangsamt“, erzählt die Astrophysikerin.

GAS WIRKT WIE HANDBREMSE

Im Rahmen der Simulation des Clusters berechnete sie dann, wie nach Stahlers Theorie Gas und Doppelsterne wechselwirken und welche Folgen dies für die Population der Doppelsterne im Cluster hat. „Wir waren überrascht, wie klar unsere Simulation die beobachteten Doppelstern-Populationen hervorbringt, die man zwischen Feld und Cluster beobachtet hat“, sagt Korntreff. Das spricht dafür, dass in den Sternenhaufen wirklich geschieht, was Stahlers Theorie vorhersagt: Die Schwerkraft der Sterne zieht Gas an. Das Gas verdichtet sich so sehr, dass es durch seine Anziehungskraft den Stern abbremst, wenn er weiterwandert – wie eine leicht angezogene Handbremse. So wird die Umlaufbahn immer enger. Doppelsterne, die sich mit dem hundertfachen Sonnen-Erde-Abstand umkreisen, nähern sich innerhalb einer Million Jahre so weit aneinander an, dass sie erst Materie austauschen – was man sich wie eine Nabelschnur vorstellt – und dann miteinander verschmelzen.

„Dank dieser Simulation verstehen wir besser, wie die Doppelsterne verschwinden und was geschieht, wenn ein Cluster sich entwickelt“, erklärt die Astrophysikerin die Bedeutung ihrer Arbeit für die Forschung. Bei der Arbeit mit den Supercomputern profitierte sie vom Austausch mit den Kollegen am JSC. Fachliche Betreuung fand sie dagegen bei ihrer Doktor Mutter Prof. Susanne Pfalzner am Max-Planck-Institut für Radioastronomie in Bonn (MPIfR). Mit dieser und einem weiteren Kollegen vom MPIfR hat sie kürzlich erste Ergebnisse in der Fachzeitschrift „Astronomy and Astrophysics“ vorgestellt. ::

Christoph Mann

Gruppe „Computational Science“, in der Wissenschaftler verschiedenster Fachgebiete forschen.

An ihrer Disziplin fasziniert sie, „dass man überhaupt etwas über die weit entfernten Sterne herausfinden kann“. Tatsächlich liefern astronomische Beobachtungen lediglich Momentaufnahmen – doch theoretische Astrophysiker wie die Kölnerin schärfen unser Bild vom Universum, indem sie diese Daten interpretieren.

DOPPELSTERNE VERSCHWINDEN

So weiß man etwa, dass rund 60 Prozent aller Sterne Doppelsterne sind. Manche von ihnen umkreisen einander in wenigen Stunden, andere in vielen Tausend Jahren. Auffällig ist aber, dass in den Clustern rund 75 Prozent aller Ster-



Laden ab Mitternacht: Studie zur Elektromobilität

Sechs Millionen Elektroautos sollen 2030 auf deutschen Straßen unterwegs sein. Dafür muss das hiesige Stromerzeugungssystem nicht erweitert werden, wie die umfangreiche Studie eines Teams um den Jülicher Wissenschaftler Jochen Linßen zeigt.

Die Bundesregierung setzt auf Elektrofahrzeuge, um den Klimaschutz voranzubringen. Sie sieht vor, dass die Deutschen 2020 eine Million Elektroautos fahren, zehn Jahre später dann schon sechs Millionen. Experten für Energiesystemanalyse vom Institut für Energie- und Klimaforschung haben gemeinsam mit Partnern aus Wirtschaft und Wissenschaft im Projekt NET-ELAN untersucht, wie sich diese politische Zielvorgabe auf Stromnetze, Energiewirtschaft und Klima auswirken würde.

Danach würden dank des Elektrofahrzeug-Einsatzes 2030 im gesamten Ver-

kehr knapp fünf Prozent weniger Mineralölprodukte verbraucht. Die Folge: Der Ausstoß des Treibhausgases CO₂ in Deutschland verringert sich um fünf bis elf Millionen Tonnen. „Die Spannweite bei dieser Angabe ist hauptsächlich zurückzuführen auf den wetterbedingt schwankenden Anteil der Windenergie am Strom, mit dem die Batterien der Elektrofahrzeuge aufgeladen werden“, erläutert Jochen Linßen, Hauptautor des NET-ELAN-Abschlussberichts.

Darüber hinaus belegt die Studie: Der Markteintritt von Elektroautos, wie ihn die Bundesregierung anstrebt, lässt sich

technisch umsetzen: Werden die Autos gezielt zu bestimmten Zeiten aufgeladen, muss Deutschland keine zusätzlichen Kraftwerke bauen und die Stromnetze nicht anpassen.

LADESTROM AUS WINDENERGIE?

In anderer Hinsicht wird die Kapazität des bislang geplanten Netzes jedoch nicht reichen. Es wird überschüssigen Strom aus Windenergie nur zum Teil zu den Verbrauchsschwerpunkten und somit zu den Ladestellen der Elektroautos übertragen können. Dieser überschüssige Strom stammt von geplanten Wind-

Inwieweit gelingt es im Jahr 2030, sechs Millionen Elektroautos in Deutschland mit überschüssigem Strom aus Windenergie aufzuladen? Eine Antwort liefert die Studie NET-ELAN.

parks an Land und in der Nord- und Ostsee. Sie werden an windreichen Tagen mehr Strom produzieren als unmittelbar benötigt wird. Während windarmer Zeiten werden sie dagegen den Bedarf nicht decken können.

Die Studie zeigt jedoch einen Weg, damit Elektroautos im Jahr 2030 immerhin bis zu 60 Prozent des Ladestroms aus sonst ungenutzter Windenergie beziehen können. Neben dem Netzausbau an Engpässen ist folgende Strategie hilfreich: Das Laden der Elektroautos sollte gleichmäßig auf die Nachtstunden zwischen 24 und 6 Uhr verteilt werden. Dann sind die Netze nur schwach ausgelastet, die Stromnachfrage gering und die wahrscheinlichen Überschüsse aus der Windenergie besonders hoch.

Diese Strategie verspricht darüber hinaus individuelle Vorteile für den Besitzer eines Elektroautos: Er verlängert die Batterielebensdauer, wenn er den Ladevorgang zeitlich in Richtung des nächsten Fahrtantritts verschiebt. „Eine Win-Win-Situation für Netzbetreiber und Verbraucher“, so Jochen Linßen.

Trotzdem altert die Batterie mit jedem Ladevorgang. Und darin sehen die Forscher ein wesentliches Hindernis für

die ebenfalls untersuchte Rückspeisung der gespeicherten Energie ins Netz – entsprechend den Überlegungen, private Elektroautos als mobile dezentrale Zwischenspeicher zu nutzen. Weil der Fahrzeughalter die stärkere Beanspruchung der Batterie mit einer bis zu 25 Prozent verkürzten Batterie-Lebensdauer bezahlen würde, müsste der Netzbetreiber ihn erheblich entlohnen.

Elektrofahrzeuge seien allenfalls ein „kleiner Teil der Gesamtlösung für eine erhöhte Integration erneuerbarer Energien“, folgern die Wissenschaftler in ihrer Studie. Längere Windflauten beispielsweise lassen sich mit der gespeicherten Energie aus Elektrofahrzeug-Batterien sicher nicht überbrücken. „Für eine verlässliche Energieversorgung, die sich zunehmend aus regenerativen Quellen speist, benötigt man auf jeden Fall auch innovative stationäre Energiespeicher – ein Schwerpunkt unserer Jülicher Forschungsaktivitäten“, sagt Vorstandsmitglied Prof. Dr.-Ing. Harald Bolt.

SCHLÜSSIGES SZENARIO

Die Forscherinnen und Forscher mussten beim NET-ELAN-Projekt in vielerlei Hinsicht Trends der Zukunft abschätzen: Wie viel Energie werden die Elektroautos durchschnittlich pro gefahrenen Kilometer verbrauchen? Wie lange werden die Strecken sein, die der durchschnittliche Fahrzeugnutzer am Tag zurücklegt? Zu welcher Zeit werden die Elektroautos aufgeladen? Wie sieht das Stromnetz aus, aus dem die Elektroautos ihre Energie beziehen? Welche

Kraftwerke oder Anlagen erzeugen den Strom? „Es gab bereits Untersuchungen zu einzelnen dieser Aspekte: Das Besondere an unserer Studie ist, dass wir ein konsistentes, schlüssiges Szenario der künftigen Energieversorgung entwickelt haben, um die Netzintegration der Elektrofahrzeuge zu untersuchen“, sagt Linßen.

Für ihn war das Projekt, in dem er Verkehr und Stromwirtschaft miteinander verknüpft hat, ein echter Traumjob: Seit mehr als zehn Jahren in Jülich mit Energiesystemanalysen beschäftigt, ist er ursprünglich Fahrzeugingenieur. ::

Dr. Frank Frick

.....

Die Partner im Projekt NET-ELAN

- TU Berlin, Institut für Land- und Seeverkehr (ILS), Fachgebiet Kraftfahrzeuge (KFZ)
- TU Berlin, Fakultät Elektrotechnik und Informatik, Fachgebiet Sustainable Electric Networks and Sources of Energy (SENSE)
- Zentrum für Sonnenenergie- und Wasserstoff-Forschung Baden-Württemberg
- Ford Forschungszentrum Aachen GmbH
- Vattenfall Europe AG Innovationsmanagement

.....



Dr. Jochen Linßen vom Forschungszentrum Jülich ist Experte für Energiesystemanalyse und Hauptautor des NET-ELAN-Abschlussberichtes.

Energie speichern mit Silizium und Luft

Ein neuer Typ Batterie kommt ohne knappe Rohstoffe aus, ist umweltverträglich und robust. Jülicher Forscher arbeiten daran, sein großes Potenzial als leistungsfähiger Energiespeicher auszuschöpfen.

Wer mit Digitalkamera, Smartphone oder Tablet-Computer unterwegs ist, trägt damit heute fast immer auch Lithium-Batterien oder Lithium-Ionen-Akkus mit sich herum. Diese sind gegenwärtig das Maß aller Dinge, wenn es darum geht, möglichst viel Energie in möglichst wenig Material zu speichern. Doch in den Forschungslaboren der Welt sucht man längst nach Nachfolgern mit noch höhe-

ren Energiedichten – auch, um Elektroautos und stationären Speichern für Wind- und Sonnenenergie zum Durchbruch zu verhelfen.

Ein besonders hoch eingeschätzter Kandidat ist die Lithium-Luft-Batterie, die theoretisch die 50-fache Energiedichte heutiger Lithium-Ionen-Akkus erreichen könnte. „Doch die Verwendung von Lithium bereitet einige Schwierigkeiten: Es reagiert heftig mit Luftfeuch-

tigkeit oder Wasser. Außerdem ist das Metall ein knapper Rohstoff, der sich bei stark steigender Nachfrage rasch verteuern wird“, sagt Prof. Rüdiger Eichel vom Jülicher Institut für Energie- und Klimaforschung (IEK). Hier sieht er wesentliche Vorteile für eine Alternative. Wissenschaftler des Israelischen Instituts für Technologie – Technion – in Haifa haben sie entwickelt und 2008 erstmals vorgestellt: die Silizium-Luft-Batterie.



Das Silizium im Sand und der Sauerstoff im Luftballon: Prof. Rüdiger Eichel zeigt symbolisch, wie allgegenwärtig die Rohstoffe für den neuen Typ Batterie sind.

Silizium wird aus Sand gewonnen und ist praktisch unbegrenzt verfügbar. Auf ihm basieren die heutigen Computchips.

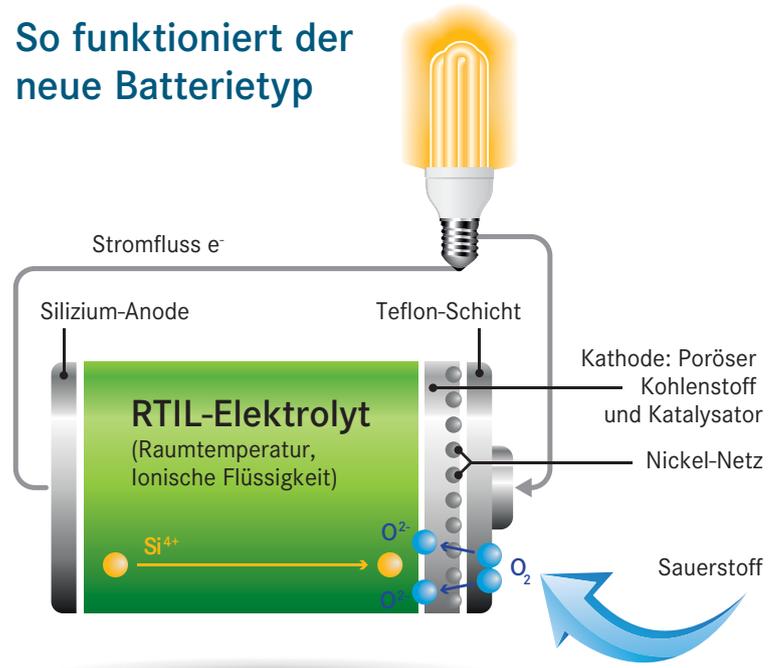
DER SAUERSTOFF-TRICK

Ihre prinzipiell hohe Energiedichte verdanken Silizium-Luft-Batterien genau wie Lithium-Luft-Batterien einer Besonderheit: Ihre Funktion beruht auf einer Reaktion von Sauerstoff, der nicht in der Batterie enthalten ist. Stattdessen wird er beim Entladevorgang aus der umgebenden Luft aufgenommen. Weil der Sauerstoff also nicht in der Batterie mitgeführt wird, ist deren Masse geringer als die einer konventionellen Batterie.

Eichel, Leiter des neuen Bereiches „Grundlagen der Elektrochemie“ am IEK, forscht an der Silizium-Luft-Batterie, die aus ungiftigen und umweltverträglichen Komponenten besteht. Dabei kooperiert er mit deren Erfinder Prof. Yair Ein-Eli. Zusammenarbeit über Ländergrenzen hinweg ist in der Wissenschaft längst Normalität. Doch wo sich der Israeli und der Deutsche kennengelernt haben, erstaunt dann doch: „Das war in China“, so Eichel. Die Erklärung: Dort fand eine Konferenz statt, bei der sich die beiden Wissenschaftler begegneten. Seitdem erkunden Eichel und sein Team die Reaktionen im Inneren der Batterie, die dazu führen, dass diese bei der Entladung nicht so viel Energie liefert, wie theoretisch zu erwarten wäre.

Zunächst haben die Wissenschaftler mit Hilfe von speziellen spektroskopischen Methoden die Vorgänge an der Elektrode untersucht, an der Sauerstoff reduziert wird (siehe auch „So funktioniert der neue Batterietyp“). Diese Elektrode, die Kathode, besteht aus porösem Kohlenstoff und einem Katalysator, der die Umsetzung des Sauerstoffs beschleunigt. Als Katalysator setzen die deutschen und israelischen Wissenschaftler bislang Mangandioxid ein. Das Team um Eichel fand nun heraus, dass dieses Material zum Teil mit dem Elektrolyten der Batterie reagiert. Mit zwei unerwünschten Folgen: Erstens verlieren die Katalysator-Teilchen dadurch an Aktivität. Zweitens vergrößern sie sich und verstopfen dadurch wahrscheinlich zunehmend die Poren der Elektrode, so dass weniger Sauerstoff hindurchgelangen kann.

So funktioniert der neue Batterietyp



Die Batterie basiert auf der Oxidation von elementarem Silizium zu der Silizium-Sauerstoff-Verbindung Siliziumdioxid. Beim Entladen der Batterie wird metallisches Silizium zu Silizium-Ionen oxidiert. Die dabei entstandenen Elektronen fließen von der Silizium-Anode (links) durch ein Stromkabel bis zu einem Nickel-Netz in der Kathode (rechts). Dort wird molekularer Sauerstoff zu Sauerstoff-Ionen reduziert. Zugleich wandern Silizium-Ionen durch eine ionische Flüssigkeit und reagieren an der Kathode mit Sauerstoff-Ionen zu Siliziumdioxid. Der Sauerstoff dafür stammt aus der Umgebungsluft. Er gelangt durch eine mechanisch stabile Teflon-Membran in die Batterie zur Kathode. Diese besteht aus porösem Kohlenstoff und einem Katalysator, der die dort stattfindenden Reaktionen beschleunigt. Wesentlich für die Funktion der Batterie ist die ionische Flüssigkeit – ein organisches Salz mit besonders niedrigem Schmelzpunkt: Es löst das elementare Silizium aus der Anode heraus und überführt es in Ionen, die dann zur Kathode wandern.

KATALYSATOR UNTER BEOBACHTUNG

Daher experimentieren die Jülicher Wissenschaftler derzeit mit anderen Katalysatoren. „Es gilt, den optimalen Kompromiss zwischen sehr aktiven, aber teuren Materialien und weniger wirkungsvollen, aber kostengünstigeren Katalysatoren zu finden“, erläutert Eichel. Die Suche sei bereits erfolgreich, doch die Ergebnisse sind noch nicht veröffentlicht. Daneben freut sich der Physiker, dass es überhaupt gelungen ist, mit spektroskopischen Methoden den Katalysator zu beobachten – keinesfalls selbstverständlich, weil sich dieser fein verteilt in Form winziger Partikel stellenweise tief in den Poren der Kathode befindet.

Inzwischen haben die Forscher noch eine andere Erkenntnis gewonnen, die sehr überraschend ist. „Bislang galt es als sicher, dass es vor allem an der Kathode liegt, wenn Metall-Luft-Batterien noch nicht wie gewünscht funktionieren“, sagt Eichel. Doch nun entdeckten die Wissenschaftler aus Jülich und Haifa, dass es bei der Silizium-Luft-Batterie anders ist. Sie konnten zeigen, dass es vor allem Vorgänge an der Silizium-Anode sind, die derzeit die Entladung der Batterie hemmen. Damit ist nun ein gänzlich neuer Ansatzpunkt gefunden, den innovativen Energiespeicher zu verbessern. ::

Dr. Frank Frick

Von der Ader zum Netzwerk

Dmitry A. Fedosov hat den Sofja Kowaleskaja-Preis der Humboldt-Stiftung erhalten. Mit dem Preisgeld von 1,3 Millionen Euro baut der Mathematiker eine Arbeitsgruppe auf, um die Blutströme in gesundem und in Krebsgewebe zu simulieren. Das Wissen darüber soll die Tumorthherapie gezielt verbessern.

Für die Simulation von Blutströmen müssen Forscher bereits in einem Kubikmillimeter Gewebe viele Millionen Blutzellen berücksichtigen, davon rund fünf Millionen rote Blutkörperchen.

Für Dmitry A. Fedosov beginnt in Jülich ein neuer Abschnitt seiner Karriere. Der 30-jährige Mathematiker, der in Nowosibirsk studiert und in den USA promoviert hat, erhält am Institute for Complex Systems eine Chance, die nur wenige Wissenschaftler seines Alters haben: Er leitet seit September 2012 eine Arbeitsgruppe und bestimmt mit, wohin die Forschung geht.

Fedosovs Ziel ist es, die Mikrozirkulation von Blut zu simulieren, in gesundem Gewebe sowie in Tumoren. Die Mikrozirkulation, das ist jenes Netz feinsten Blutgefäße wie Kapillare, die, um ein Vielfaches dünner als ein Haar, das Gewebe durchziehen. „Würde man alle Äderchen im Menschen aneinanderlegen, würden sie die Erde mehr als zwei Mal umrunden. Kaum vorstellbar, dass man jemals

die komplette menschliche Mikrozirkulation simulieren kann“, erklärt Fedosov.

MEDIKAMENTE GEGEN KREBS

Der Russe hält es aber für möglich, ein Netzwerk der Blutströme nachzubilden. Dies wäre ein Meilenstein der Simulation sowie ein Schlüssel für weitere Erkenntnisse. Konkret gesagt, könnte es etwa Ärzten helfen, mit einem verbreite-

ten Problem der Krebsbehandlung besser umzugehen: „Viele Medikamente wirken nur eingeschränkt. Denn das Blut, das sie transportiert, fließt in Tumoren anders als in gesundem Gewebe“, erklärt der Mathematiker. Zwar haben Mediziner Krebsgewebe untersucht und dabei Besonderheiten der Blutgefäße festgestellt. Doch die Behandlungsmethoden bleiben meist dieselben: „Man erhöht die Dosis, um die Wirkung zu steigern – mit entsprechend starken Nebenwirkungen.“

Wer effizientere und wenig gesundheitsschädliche Methoden entwickeln will, muss mehr wissen. Wie beeinflusst die Gefäßstruktur das Verhalten der Blutkörperchen? Wie ändert sich die Wirksamkeit von Medikamenten, wenn man ihnen gewisse Nanoteilchen beimischt?

Solche Fragen sind ohne ein ausgefeiltes Modell der Mikrozirkulation kaum zu beantworten. Fedosov ist zuversichtlich, dieses bereitstellen zu können: „Wir beabsichtigen, die Blutströme durch einen Kubikmillimeter Gewebe zu simulieren. Das wäre ein großer Fortschritt.“ Ein Kubikmillimeter – das klingt winzig, beinhaltet aber in der Mikrozirkulation eine riesige Welt, in der verwirrend viel passiert.

KAUM ÜBERSCHAUBARES GEWUSEL

Viele Millionen Blutzellen schwimmen im Blutplasma eines Kubikmillimeters Gewebe. Rund fünf Millionen rote Blutkörperchen geben dort Sauerstoff ab, nehmen Kohlendioxid auf und verändern ihre Form; weiße Blutkörperchen durchschreiten die Wände der Adern und gehen als Antikörper ins Gewebe über. Die Blutzellen stehen niemals still, sie ziehen sich an, stoßen sich ab und bilden Häufchen; die Ströme werden pausenlos dünner, dicker, langsamer oder schneller, kurz: Es herrscht ein kaum überschaubares Gewusel. Dementsprechend gerät die Simulation der Blutströme zur enormen fluiddynamischen Herausforderung.

Dmitry A. Fedosov hat diese bewältigt, als einer von wenigen Wissenschaftlern weltweit. Er hat in seiner preisgekrönten Doktorarbeit eine Methode ausgearbeitet, um Blutströme zu simulieren: „Ich entwickle aus bestehendem Wissen ein Modell, bilde daraus Algorithmen

und übersetze diese in Softwarecodes. Dann gleiche ich mein Modell mit Daten aus Experimenten ab. Wenn es trifft, erweitere ich es.“

So dringt er in Bereiche vor, die für Experimente aus ethischen oder technischen Gründen verschlossen bleiben. In seiner Promotion konnte er etwa vorherzusagen, wie sich rote Blutkörperchen bei einer Malaria-Erkrankung verhalten.

Die Ergebnisse sind ein Grund, weshalb ihm die Humboldt-Stiftung einen der höchstdotierten deutschen Wissenschaftspreise, den Sofja Kowaleskaja-Preis, verliehen hat. Dieser Preis soll Spitzenforscher nach Deutschland holen. Der Mathematiker erhält 1,3 Millionen Euro, verteilt auf fünf Jahre, um eine eigene Arbeitsgruppe aufzubauen und zu leiten.

GEOMETRIE DER BLUTBAHNEN

Was der Russe sich nun vorgenommen hat, geht aber weit über seine Dissertation hinaus: Er will die Modellbildung von der Röhre auf die Stufe des

Netzwerkes heben. Das ist mehr als ein quantitativer Sprung. Er muss nicht nur mehr Blutkörper simulieren, sondern auch die komplexe Geometrie des Ader-Netzwerkes sowie die Fluiddynamik des Blutes an Verästelungen.

Damit dies gelingt, muss das Modell möglichst einfach sein. Die Kunst ist zu erkennen, was unentbehrlich ist, um das System darzustellen, und alles andere wegzulassen. In Jülich beschäftigt sich Fedosov aber derzeit vor allem mit den technischen Aspekten: Etwa damit, die Berechnungen so an die Prozessoren der Supercomputer zu verteilen, dass möglichst viele von ihnen arbeiten. Derzeit bleiben noch viele Prozessoren wegen der komplexen Geometrie des Modells unbeschäftigt. Doch Fedosov macht rapide Fortschritte und ist sicher, schon im Frühjahr ein Netzwerk mit einfachen Verästelungen zu simulieren. Das wäre ein großer Schritt. ::

Christoph Mann

Dmitry A. Fedosov hat bereits in Sibirien und den USA gelebt. In Jülich leitet der 30-jährige Mathematiker eine Arbeitsgruppe zur Simulation der Blutströmung.

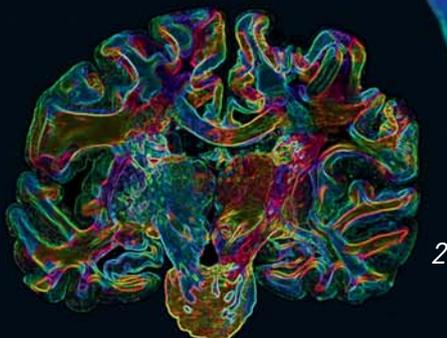
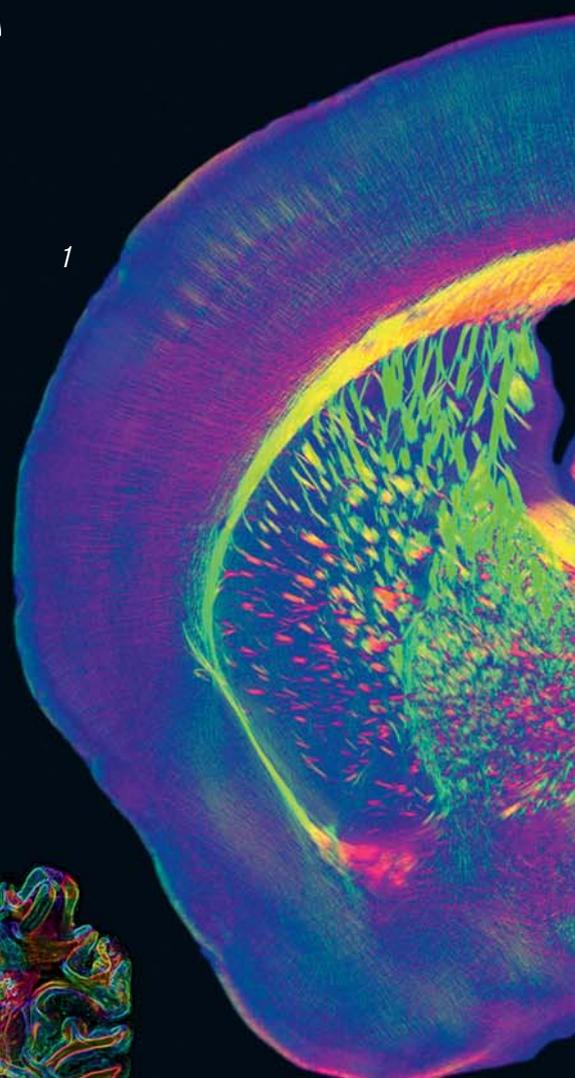


Informationswege im Gehirn

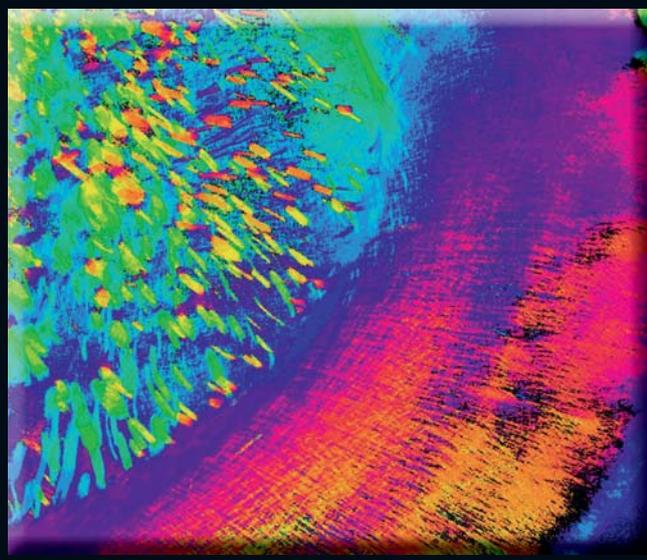
Ähnlich wie auf einer Landkarte lassen sich die einzelnen Regionen des Gehirns darstellen. Die zugehörigen „Datenautobahnen“ zeigt eine Technik, deren physikalische Grundlagen seit gut 150 Jahren bekannt sind: die Untersuchung mit polarisiertem Licht. Jülicher Forscher haben sie zum „Polarized Light Imaging“ weiterentwickelt und können damit nun Wege sichtbar machen, über die Informationen im Gehirn fließen: die Nervenfasern. Auf wenige Mikrometer genau sehen die Wissenschaftler, wie die Nervenfasern verlaufen und welche Hirnregionen sie verbinden.

Ausgangsmaterial für ihre Untersuchungen sind hauchdünne Scheiben des Gehirns – etwa 3.000 pro Organ. Diese durchleuchten die Wissenschaftler Stück für Stück mit polarisiertem Licht. Trifft es auf die Nervenfasern, ändert das Licht seine Eigenschaften messbar. Mit moderner Signal- und Bildverarbeitung verknüpfen die Forscher um Markus Axer vom Institut für Neurowissenschaften und Medizin (INM) die Informationen aus jeder Scheibe und rekonstruieren so den dreidimensionalen Verlauf der Nervenfasern im Gehirn.

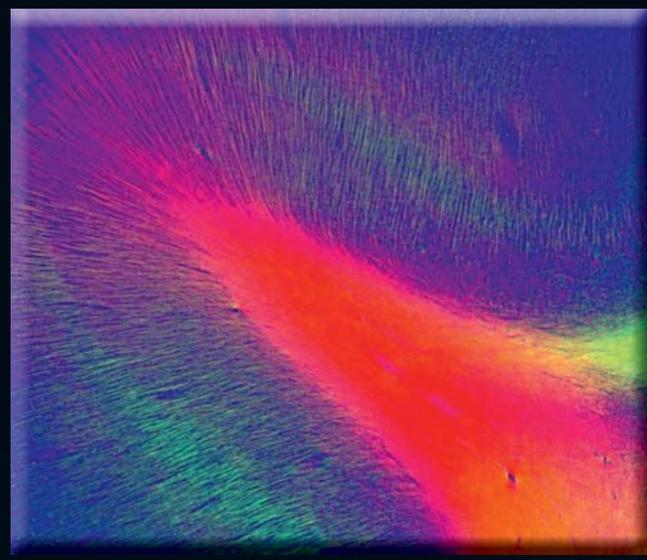
Die Karten der Nervenbahnen ergänzen den Gehirnatlas, an dem Jülicher Forscher seit über 15 Jahren arbeiten. Er enthält nicht nur strukturelle Unterschiede des Gehirns, sondern ordnet verschiedenen Bereichen auch Funktionen zu. Der Verlauf der Nervenbahnen ist ein weiteres Puzzlestück auf dem Weg, das gesunde Gehirn besser zu verstehen und dadurch künftig Krankheiten früher zu diagnostizieren und gezielter zu therapieren. ::

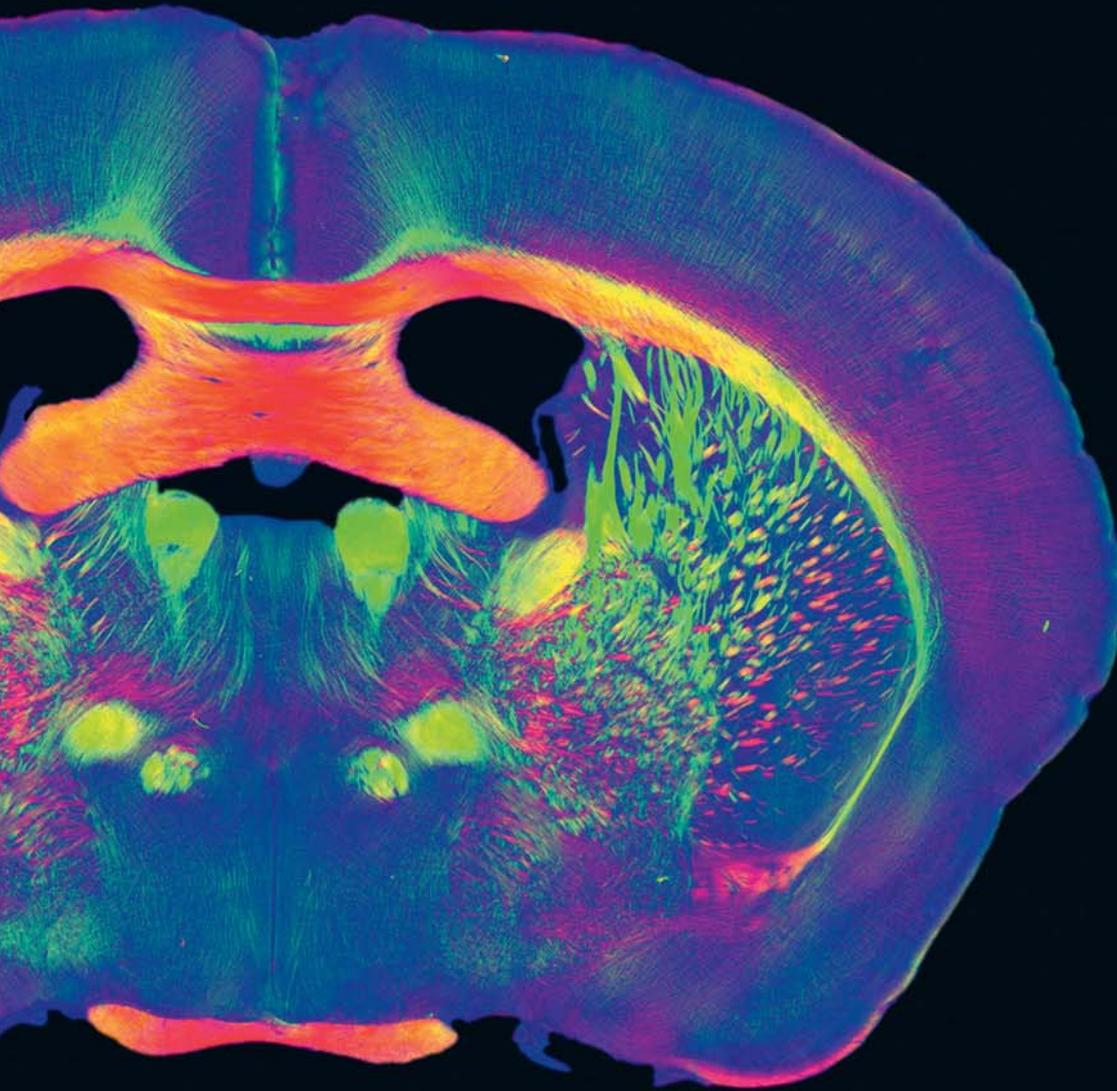


3

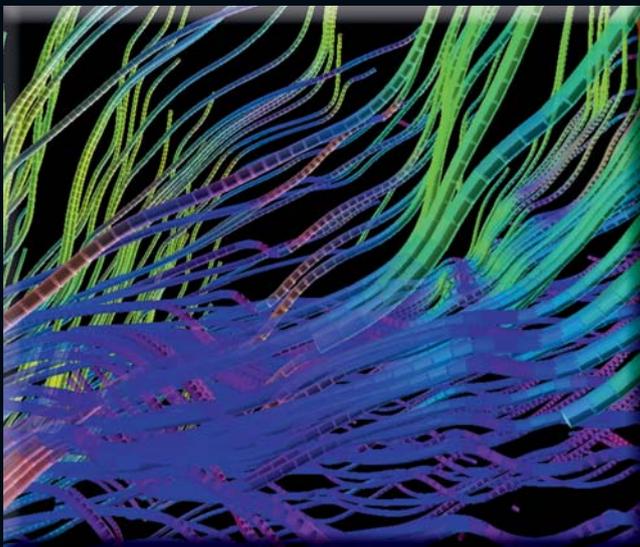


4





5



Nervenfaser des Gehirns in 70 Mikrometer dicken, histologischen Frontalschnitten, sichtbar gemacht mit Polarized Light Imaging:

- 1 Faserverläufe bei der Maus (unterschiedliche Farben stellen unterschiedliche Verläufe dar)
- 2 Faserverläufe in einem Menschen, nachträglich grafisch bearbeitet
- 3 Faserverläufe bei der Maus
- 4 Faserverläufe in der menschlichen Sehrinde
- 5 Menschliche Faserbahnen, dargestellt als 3D-Röhren („tubes“)

IMPRESSUM

Forschen in Jülich Magazin des Forschungszentrums Jülich, ISSN 1433-7371 **Herausgeber:** Forschungszentrum Jülich GmbH | 52425 Jülich **Konzeption und Redaktion:** Annette Stettien, Dr. Barbara Schunk, Dr. Anne Rother (V.i.S.d.P.) **Autoren:** Dr. Frank Frick, Christian Hohlfeld, Christoph Mann, Tobias Schlöber, Dr. Barbara Schunk, Brigitte Stahl-Busse, Angela Wenzik **Grafik und Layout:** SeitenPlan GmbH, Corporate Publishing, Dortmund **Bildnachweis:** Forschungszentrum Jülich (2, 3 l. u. m., 4 l.o. u. r.o.), 5 u., 6-11, 13 m., 14 l., 17, 18, 21), Amunts, Zilles, Axer et al./Forschungszentrum Jülich (3 r., 22-23), iStockphoto/Thinkstock (20), NASA, STScI, ESA (14-15 Hintergrund), Axel Pfaender (Titel und 6-11 Illustrationen), PhotoHouse/Shutterstock.com (12-13 o.), rangizzz/Shutterstock.com (12 u.), George Rudy/Shutterstock.com (5 o.), Spectral-Design/Shutterstock.com (4 u.), Tesla Motors (16) **Kontakt:** Geschäftsbereich Unternehmenskommunikation | Tel.: 02461 61-4661 | Fax: 02461 61-4666 | E-Mail: info@fz-juelich.de **Druck:** Schloemer Gruppe GmbH **Auflage:** 6.000.



Mix
Produktgruppe aus vorbildlich
bewirtschafteten Wäldern und anderen
kontrollierten Herkünften
www.fsc.org Cert.-Nr. SCS-COC-01641
© 1996 Forest Stewardship Council



Mitglied der:

