



Der Spindoktor

Dieser Physiker hat unsere Welt verändert: Erst **Stuart Parkins** Entwicklungen in der Spintronik ermöglichen Facebook, Google und viele andere Computeranwendungen, ohne die unser Alltag kaum noch denkbar ist. Seit einem Jahr ist Parkin Direktor am **Max-Planck-Institut für Mikrostrukturphysik** in Halle. Mit seiner Energie beeindruckt und fordert er seine Kollegen dort gleichermaßen.

TEXT **PETER HERGERSBERG**

Der Beruf des Physikers gilt gemeinhin nicht als körperliche Arbeit. Stuart Parkin braucht trotzdem keinen Ausgleichssport – er ist fast ständig in Bewegung. Auch als die finnische Akademie für Technologie ihm im Mai 2014 den Millennium-Technologiepreis verleiht, den mit einer Million Euro höchstdotierten Technikpreis der Welt, und Parkin aus diesem Anlass einen Vortrag hält. Dabei beeindruckt er nicht nur mit seinen Innovationen für die Speichertechnik, sondern auch mit der Strecke, die er auf der Bühne zurücklegt. Unaufhörlich ein paar Schritte vor, ein paar Schritte zurück, dann ein kleiner Abstecher zu dem Tisch mit dem Wasserglas, und weiter geht's.

Auch die Hände sind immer aktiv. Mal zeichnet eine Hand die Schichtmaterialien in die Luft, die er entwickelt hat, mal weist die andere mit ausladender Geste auf ein Bild in seinen Folien oder eine besonders wichtige Aussage hin, mal scheinen beide Hände ein nicht vorhandenes Seil nach unten zu ziehen. Er ist so agil, da verwundert die

hagere Gestalt nicht, mit der er auch als Langstreckenläufer durchginge.

Als Parkin in Helsinki spricht, ist er seit einem guten Monat Direktor am Max-Planck-Institut für Mikrostrukturphysik und Professor an der Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg. Er blickt heute schon auf zahlreiche wissenschaftliche und technische Erfolge zurück. Seinen Entdeckungen verdanken wir es, dass wir heute immer mehr Information auf immer kleinerem Raum speichern können. „Das erlaubt es uns, Facebook und Google zu nutzen“, sagt der Physiker. „Und auch Big Data ist nur möglich, weil wir große Datenmengen mittlerweile in vergleichsweise billigen Geräten speichern können.“

Bevor Parkin genauer erklärt, was er zu den leistungsfähigen Computern von heute beigetragen hat, skizziert er kurz seinen Werdegang und zeigt dazu Fotos seiner wichtigsten Stationen: „Als Kind wollte ich immer nach Cambridge, wegen Isaac Newton – Sie haben wahrscheinlich schon mal von ihm gehört“, erzählt der Brite, der in Watford unweit von London geboren

Dynamisch – das ist eine Eigenschaft, mit der Max-Planck-Direktorin Claudia Felser ihren Mann Stuart Parkin charakterisiert. Auch beim Fototermin steht er kaum still.





Lebhaft: Die Baukommission diskutiert, wie die Umgestaltung der Labors und Arbeitsräume in Stuart Parkins Abteilung voranschreitet.

wurde. „Newton war sowohl Student als auch Fellow am Trinity College – so wie ich auch.“

Anschließend arbeitete Parkin an der Universität Paris-Süd an organischen Supraleitern. Das sind Materialien auf Kohlenstoffbasis, die Strom ohne Widerstand leiten. An ihnen forschte er zunächst auch weiter, nachdem er 1982 an das Almaden-Forschungszentrum gewechselt war, das IBM im kalifornischen San José betreibt. Seither wurde er nicht nur auf diverse Honorar- und Gastprofessuren berufen, sondern auch zum beratenden Professor der Universität Stanford und IBM Fellow.

Und jetzt Halle an der Saale. Ehe er ein Foto des Max-Planck-Instituts für Mikrostrukturphysik präsentiert, zeigt er eines von sich mit seiner damaligen Verlobten und heutigen Frau, die beinahe hinter einem üppigen Blumenstrauß mit diversen orangefarbenen Blüten verschwindet: Claudia Felser, Direktorin am Max-Planck-Institut für Chemische Physik fester Stoffe. „Wir interessieren uns beide sehr für Materialien“, sagt Parkin. „Sie ist der Grund, warum ich nach Deutschland gehe.“

Selbstverständlich ist das nicht, denn Claudia Felser charakterisiert ihn mit folgenden Worten: „Stuart ist energiegelich, dynamisch, und an erster Stelle kommt die Wissenschaft.“ Ein Problem hat sie damit nicht, im Gegenteil: Das mache vieles einfacher, denn bei ihr sei es ähnlich. So war die Liaison zunächst auch eine berufliche, ehe sie eine private wurde. Denn Claudia Felser erforscht magnetische Materialien, die für Stuart Parkins Entwicklungen in der Elektronik, genauer gesagt: der Spintronik Anwendung finden könnten.

DAS SPINVENTIL ALS FEINFÜHLIGER MAGNETSENSOR

Die Spintronik nutzt nicht nur die Ladung der Elektronen aus, sondern auch deren Spin. Der Spin ist eine quantenmechanische Eigenschaft von Elektronen, die jedes dieser Elementarteilchen zu einem winzigen Stabmagneten macht. Er kann nur zwei Richtungen einnehmen. Tatsächlich bewirken die Spins unzähliger Elektronen in einem Stabmagneten, wie wir ihn aus dem Physikunterricht kennen, dass seine Enden nur Nord- oder Südpol sein kön-

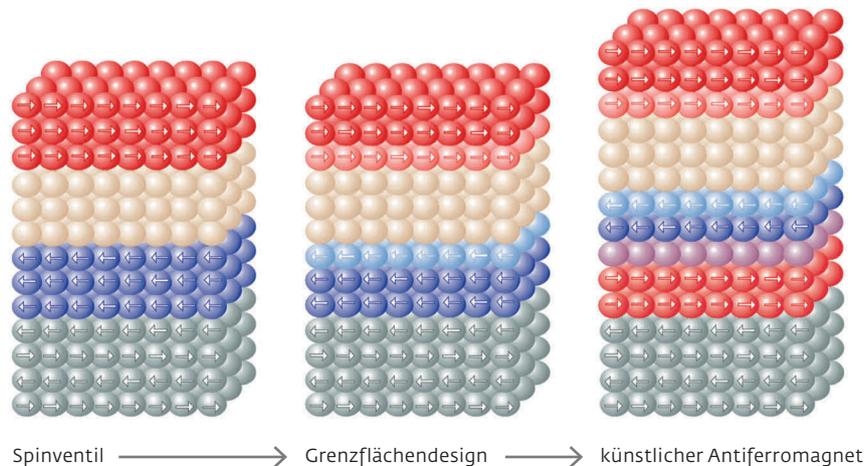
nen. Die Orientierung der Spins bestimmt aber auch, welches Datenbit in einem magnetischen Inselchen abgelegt wird, das als Speicherpunkt auf einer Festplatte dient.

Parkin gilt als einer der Vorreiter der Spintronik, nicht zuletzt wegen seiner bis dato vielleicht relevantesten Entwicklung: des Spinventils, mit dem heute in jeder Festplatte Daten gelesen werden.

Um ein Datenbit auf einer Festplatte auch dann noch entziffern zu können, wenn die Magnetinseln einzelner Speicherpunkte und mithin ihre Felder extrem winzig sind, braucht es einen besonders feinfühligem Sensor. Genau den bietet das Spinventil. Den Riesen-Magnetowiderstand, den dieser Magnetosensor nutzt, entdeckten Peter Grünberg und Albert Fert – sie erhielten dafür 2007 den Physik-Nobelpreis.

Grünberg und Fert stellten fest, dass der elektrische Widerstand von Sandwiches, in denen magnetische und nichtmagnetische Materialien abwechselnd übereinandergeschichtet sind, dramatisch sinkt, wenn man das Sandwich einem starken Magnetfeld aussetzt. „Anfangs war nicht klar, ob

Gestapelt: Ein Spinventil besteht aus zwei magnetischen Kobaltschichten (rot und blau) und einer nichtmagnetischen Kupferschicht (beige). Ein antiferromagnetisches Trägermaterial (grau) dient dazu, die Polung der einen Kobaltschicht zu fixieren. (Die Pfeile symbolisieren die Spinrichtungen an den Atomen.) Doch erst durch ein sorgfältiges Design der Grenzflächen (hellrot und hellblau) und einen künstlichen Antiferromagneten wird das Spinventil zu einem brauchbaren Lesekopf für Festplatten. Der künstliche Antiferromagnet entsteht, indem in die untere Kobaltschicht ein oder zwei Atomlagen Ruthenium (rosa) eingebracht werden. Der künstliche Antiferromagnet verhindert die antiferromagnetische Kopplung mit der oberen Kobaltschicht.



sich der Effekt technisch nutzen lassen würde“, so Parkin.

Grünberg und Fert beobachteten den Riesen-Magnetowiderstand zuerst nur in einem Schichtmaterial aus Eisen und Chrom, das sie mit einer ziemlich exotischen und aufwendigen Technik herstellten. Am stärksten änderte sich der Widerstand zudem bei tiefen Temperaturen und sehr hohen Magnetfeldern. Praxistauglich war das Phänomen damit noch nicht. „Die Vorschläge, die Peter Grünberg und Albert Fert für einen Lesekopf machten, funktionierten nicht“, sagt Parkin. Er trat an, das zu ändern.

In seinem Labor am IBM-Almaden-Forschungszentrum in San José fand er heraus, dass der Effekt auch in anderen Metallkompositionen auftritt, zum Beispiel in Sandwiches aus Kobalt und Kupfer. Und das auch, wenn die Metalle mit einer praktikableren Technik, der Sputter-Deposition, erzeugt werden. Eine Entdeckung aus der Not heraus: „IBM hat zwar eine teure Anlage für die Molekularstrahlepitaxie, wie sie Grünberg und Fert verwendeten, gebaut, als ich dort war“, sagt der Physiker. „Aber mit der Anlage kam ein Kollege, und dann war das sein Gerät, für mich blieb nur noch Geld für ein kleines Sputter-System übrig.“

Bei der Sputter-Deposition entstehen zwar keine so schön kristallinen Strukturen, das tut dem Effekt aber keinen Abbruch. Und vor allem eignet sich diese Methode für die Massenproduktion von Schichtmaterialien, weil

sie sehr viel schneller ist und sich einfach verschiedene Materialien übereinander stapeln lassen.

Das war aber nur eine Entdeckung, die dem Riesen-Magnetowiderstand in die Festplatte von heute verhalf. Da sich die Material-Sandwiches nun so unkompliziert erzeugen ließen, testete Parkin alle möglichen Materialkombinationen. Und siehe da, mit einer Kombination aus Kobalt und Kupfer statt Eisen und Chrom tritt der Effekt auch bei Raumtemperatur auf – eine zwingende Voraussetzung für den Einsatz im PC.

95 PROZENT DES WELTWISSENS WERDEN DIGITAL ABGELEGT

Zudem verkleinerte Parkin die Stapel, in denen sich viele magnetische mit nichtmagnetischen Schichten abwechseln, auf ein Sandwich von nur zwei magnetischen Kobaltlagen und einer nichtmagnetischen Kupferschicht. Damit hatte er das Spinventil gefunden. Dessen Widerstand ändert sich in einem Magnetfeld zwar nicht so stark wie in vielschichtigen Stapeln, dafür allerdings schon in Magnetfeldern, die 10000-mal schwächer ausfallen als jene, die Grünberg und Fert anlegen mussten.

Als Lesekopf einer Festplatte eignet sich das Spinventil in dieser Form aber immer noch nicht. Denn in einem Spinventil, das klein genug ist, um die winzigen Speicherpunkte auf einer Festplatte abzutasten, spüren sich die magnetischen Lagen so stark, dass sie wieder nur

auf sehr große äußere Magnetfelder reagieren. Die Magnetinseln auf einer Festplatte können da nichts ausrichten. Parkin entdeckte aber weitere Besonderheiten im Zusammenspiel magnetischer und nichtmagnetischer Schichten, die nur wenige Atomlagen dünn sind. Mithilfe der Effekte lässt sich auch ein atomar dünnes Spinventil für winzige Magnetfelder sensibilisieren. Keineswegs unerheblich ist dabei, dass der Riesen-Magnetowiderstand an den Grenzflächen zwischen den magnetischen und nichtmagnetischen Schichten des Materials bewirkt wird und nicht im Inneren der Lagen.

„Ich habe also die Entdeckungen gemacht, die den Riesen-Magnetowiderstand nützlich machen“, sagt Parkin selbstbewusst. „Unser Spinventil reagiert auf so schwache Magnetfelder, dass die magnetischen Regionen auf einer Festplatte 1000-mal kleiner werden konnten.“ Nicht zuletzt weil dadurch die Speicherdichte deutlich stieg, werden 95 Prozent des Weltwissens heute digital abgelegt, vor 20 Jahren waren es nicht einmal fünf Prozent.

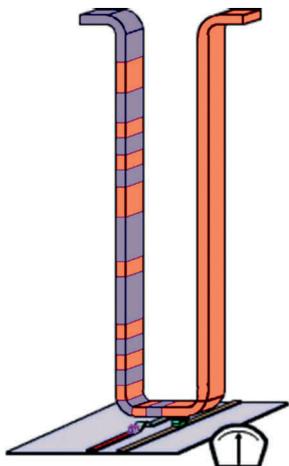
Das reicht Stuart Parkin aber noch nicht. In den vergangenen Jahren hat er bei IBM schon an den nächsten Innovationen gearbeitet, nicht nur um die Speicherdichte zu erhöhen, sondern auch um die Information schneller zugänglich zu machen, als das bei heutigen Festplatten der Fall ist.

Das soll mit dem Racetrack Memory gelingen. Hier rast kein Lesekopf mehr



Oben: Stuart Parkin und Kumari Gaurav Rana diskutieren Untersuchungen mit einem Röntgendiffraktometer. Damit lässt sich die detaillierte Struktur von Materialschichten analysieren, wie Stuart Parkin sie auch in Halle erforschen wird.

Unten: Im Racetrack Memory schieben kurze Stromstöße magnetische Regionen (rote und blaue Zonen) durch einen Nanodraht zu einem fest stehenden Lesekopf. Da dieses Speicherprinzip keine bewegliche Mechanik braucht, können Daten auf diese Weise schneller ausgelesen werden.



über die magnetischen Speicherpunkte. Stattdessen wandern die magnetischen Regionen mit Geschwindigkeiten von mehreren 100 Metern pro Sekunde durch Nanodrähte zu einem fixen Lesekopf. Da es keine bewegliche Mechanik mehr gibt, würde das Racetrack Memory heutige Festplatten in puncto Geschwindigkeit um Längen schlagen. Allerdings entstehen bei der Herstellung der filigranen magnetischen Strukturen heute immer noch zu viele fehlerhafte Bauteile. „Aber alle großen Computerfirmen arbeiten an solchen Speichern“, sagt Stuart Parkin. In einigen Jahren könnten sie reif sein für den Markt.

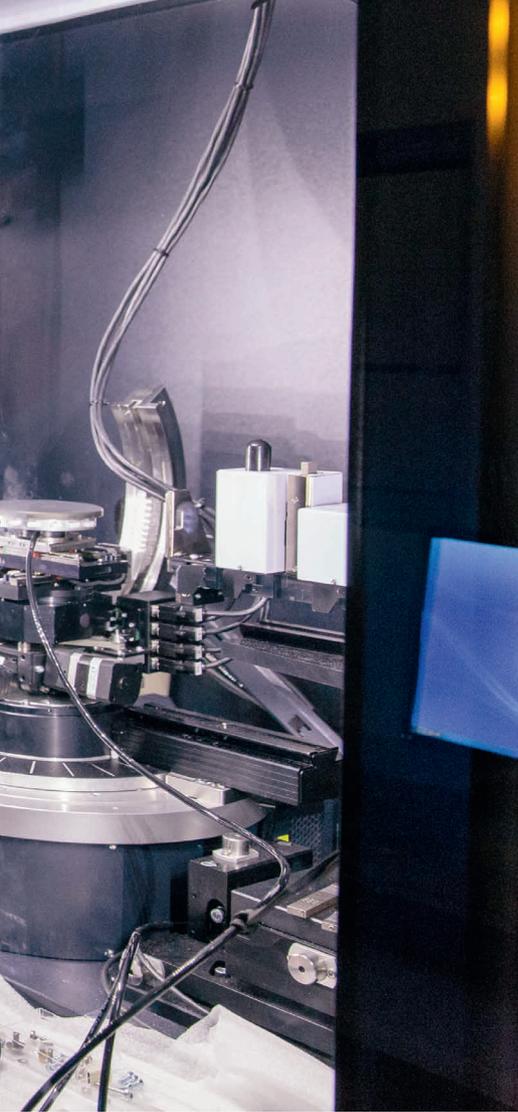
Einen Teil seiner neueren Ideen, die er schon bei IBM entwickelt hat, wird Parkin in Halle weiterverfolgen, aber neue sollen dazukommen. Mit ihm komme der Spirit des Silicon Valley nach Sachsen-Anhalt, sagt Claudia Feller. Doch ein knappes Jahr später pendelt der Erfindergeist immer noch etwa alle zwei Wochen zwischen San José und Halle hin und her. Und das sieht

man ihm an diesem Morgen auch an, nachdem er tags zuvor wieder angekommen ist. „Schön, Sie zu sehen“, sagt er zur Begrüßung und fügt mit einer Mischung aus Ungeduld und Offenheit hinzu: „Was machen wir jetzt?“

„EIN BILD, DAS MIR GEFÄLLT, KAUFTE ICH“

Zeit für ein Gespräch hat er erst einmal nicht. Er eilt in sein Büro, am Vormittag stehen verschiedene Besprechungen an, die teils spontan anberaumt wurden und den ursprünglichen Zeitplan durcheinanderbringen.

Parkins Büro wird von einem Konferenztisch beherrscht, an dem zehn Personen Platz finden. Im Hintergrund des Raumes steht sein Schreibtisch, neben dem, so groß wie ein Poster, das gemalte Antlitz eines Buddhas hängt. Er mag Kunst, hat aber keine Vorlieben für einen bestimmten Künstler oder eine bestimmte Epoche. „Wenn ich ein Bild sehe, das mir gefällt, kaufe ich es“, sagt er. Manchmal nutzt er seine Konferenz-



aufenthalte in aller Welt daher auch, um Galerien zu besuchen.

Auch wenn ein Bild schon seinen Arbeitsplatz in Halle verschönert, seine Forschung kann er hier noch nicht betreiben. Erst sind diverse Um- und Neubauten sowie einige Sanierungsarbeiten nötig, um die Labors in Parkins Abteilung seinen Vorstellungen entsprechend auszustatten. Um den Stand der Planungen zu besprechen, tagt die Baukommission. Schnell wird klar, man hängt ziemlich hinterher. Parkin bedauert das und sagt: „Ich will jetzt anfangen!“ Doch viele Maßnahmen sind nicht so möglich, wie ursprünglich gedacht. Außerdem hat sich neuer Bedarf ergeben. Mit vereinten Englischkenntnissen versuchen die Baufachleute Parkin die Probleme zu vermitteln.

Parkin sitzt sehr aufrecht, die Ellenbogen auf den Tisch gestützt, die Füße unter dem Stuhl verschränkt. Der eine Fuß zittert mit einer Frequenz, die an die Taktfrequenz eines Computers heranreicht. Lange dreht sich die Diskussion um eine neue Wasserversorgung. Denn

wer mit magnetischen Materialien experimentiert, kann nicht mit Wasser kühlen, das mit Eisen verunreinigt ist.

Stuart Parkin lernt deutsche Brandschutzbestimmungen und das hiesige Baurecht kennen. Als es um eine Baugenehmigung der Stadt Halle geht, wirft er mit scherzhaftem Ton ein: Das sei kein Problem, gestern habe er den Bürgermeister kennengelernt, mit dem werde er das regeln. Aber natürlich weiß er, dass es so einfach nicht ist. Für jemanden, der eigentlich nur seine Forschungsideen verfolgen will, muss das enervierend sein. „Doch wenn die Regeln so sind, muss man sich damit abfinden“, sagt er nach der Sitzung. So hoch seine Anforderungen an die Ausstattung seiner Labors sind und so gern er seine Abteilung schon eingerichtet hätte – er ist auch pragmatisch.

Und wenn die Startschwierigkeiten überwunden sind, dürfte es sich an einem Max-Planck-Institut sogar mit mehr Freiheit forschen lassen als im Firmenlabor. „Bei IBM wird man von einem Tag zum anderen gefördert, und um zusätzliche Doktoranden oder Postdocs einstellen zu können, braucht man Mittel aus anderen Töpfen, an die man immer schwerer herankommt“, sagt er. „Am Max-Planck-Institut kann ich mehr Wissenschaftler beschäftigen und mehr Projekte verfolgen.“ Zudem gebe die Max-Planck-Gesellschaft Mittel und Freiheit für langfristige Projekte.

Nachdem die Baukommission sich wieder auf den Heimweg gemacht hat und viele offene Fragen mitnimmt, geht es zu einem Fototermin. Als Parkin aus seinem Büro in das Foyer des Instituts tritt, weist er auf das schlichte graue Interieur mit stählernen Hängelampen von derselben Farbe: „Ist das nicht hässlich?“ Als die Antwort sich etwas verzögert, gibt er sie selbst und kündigt lachend an, auch hier ein paar Dinge zu verändern. Als kunstsinniger

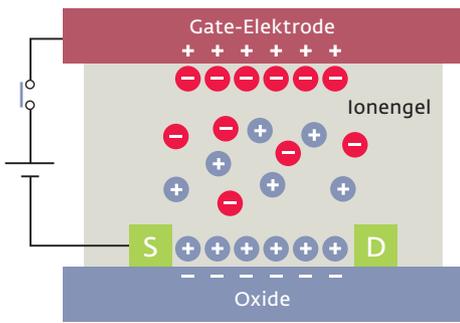
Mensch hat er nicht nur hohe praktische, sondern auch eigene ästhetische Ansprüche an sein Arbeitsumfeld.

Nach einigen weiteren Besprechungen steht am späten Nachmittag das Gespräch für diesen Artikel auf dem Programm. Parkin soll über die Motivation für seine rastlosen Forschungsaktivitäten sprechen, noch ein paar Details seiner bisherigen Arbeit erklären und skizzieren, was er an seiner neuen Forschungsstätte vorhat. Und weil der Fotograf noch nicht genügend Bilder im Kasten hat, findet das Interview während eines Spaziergangs zur Saale statt, die unweit des Instituts fließt.

„DER GEWISSE VERFALL MACHT DEN CHARME HALLES AUS“

„Wow, ist das schön hier“, ruft Parkin immer wieder auf dem Weg über die Peißnitzinsel. Und mit noch mehr Begeisterung reagiert er, als ihm bewusst wird, dass er durch diesen Park kommt, wenn er den Weg von seinem künftigen Zuhause zum Institut zu Fuß oder mit dem Fahrrad zurücklegt. Das Haus, das er und Claudia Felser bauen, wird, nur drei Kilometer entfernt, am Ufer der Saale stehen. „Wir haben uns geeinigt, dass Claudia von Dresden nach Halle zieht, wenn ich den ganzen Weg von Kalifornien aus hierherkomme“, sagt er auf die Frage, ob Dresden nicht auch ein attraktiver Wohnort für das Wissenschaftlerpaar gewesen wäre. Doch wie spätestens dieser Spaziergang zeigt, hat auch Halle äußerst reizvolle Seiten.

Während des Spaziergangs an die Saale zeigt sich Parkin besonders angegan von dem Café im Peißnitzhaus, das an diesem milden Apriltag auch mit einem Biergarten lockt. Das Schlösschen, das Ende des 19. Jahrhunderts erbaut wurde, hat wie manche andere ältere Gebäude in Halle Patina angesetzt. Gerade das gefällt Parkin: „Der Verfall,



Informationsverarbeitung wie im menschlichen Gehirn: In einem Transistor, der wie Nervenzellen mit Ionen geschaltet wird, bewirkt eine kleine Spannung an der Gate-Elektrode, dass sich auf ihr und einer gegenüberliegenden Oxidschicht Ionen aus einem Ionengel abscheiden. Aus dem Oxid lösen sich dann Oxidionen, sodass diese Schicht leitfähig wird und zwischen Source-(S)- und Drain-(D)-Elektrode ein Strom fließen kann.

den es hier zu einem gewissen Grad gibt, macht den Charme von Halle aus, finde ich.“

Doch so reizvoll Halle auch ist, das ist natürlich nicht der Grund, warum er hierherkommt. Hier findet er die Voraussetzungen, um seine vielen Ideen zu verfolgen, nicht nur in der Spintronik. So will er Computer entwickeln, die ähnlich rechnen, wie wir denken. Und das heißt vor allem: so energieeffizient. „Das Gehirn einer Ratte arbeitet etwa so schnell und mit derselben Speicherkapazität wie der Supercomputer Blue Gene/L, braucht aber nur ein Zehnmillionstel der Energie.“

Diese Effizienz lasse sich weder mit der herkömmlichen Elektronik erreichen noch mit der Spintronik. Erstere arbeite immer mit Verlusten, die ihren Energiebedarf in die Höhe treiben. Und Letztere sei sogar noch ineffizienter, da die Spinströme, die hier gebraucht werden, erst einmal aus Ladungsströmen erzeugt werden müssten. Zudem gebe es bislang kein funktionierendes Konzept, um Information in Form elektronischer Spins nicht nur zu speichern, sondern auch zu verarbeiten.

Also will Parkin es ähnlich machen wie menschliche Nervenzellen, die Information über die Aufnahme und Abgabe von Ionen austauschen. Und er hat dafür auch schon ein Konzept, das er mit ersten Arbeiten bei IBM entwickelt hat. Er hat einen Weg gefunden, einen elektrischen Isolator aus einer ionischen Flüssigkeit mit Ionen aufzuladen und ihn auf diese Weise zu schalten, also vom elektrisch isolierenden in den leitfähigen Zustand zu bringen. „Wir haben festgestellt, dass wir dafür nur winzige Mengen an Ionen brauchen“, erklärt er. Ein solcher Transistor würde also viel effizienter arbeiten als ein heutiger. Heute schalten die kleins-

ten Rechenelemente eines Prozessors, indem Elektronen in einen Halbleiter gepumpt oder aus ihm abgesaugt werden. Das kostet mehr Energie, als eine relativ kleine Menge von Ionen auf eine Oberfläche zu dirigieren.

IM URLAUB WIRD NUR TAGSÜBER GEARBEITET

„Mit dieser flüssigen Elektronik stehen wir noch ganz am Anfang“, sagt der Wissenschaftler. Gerade für solche Projekte, die noch einen weiten Weg in die Anwendung vor sich haben, fehle IBM die Geduld. Um mit einem so fundamental neuen Ansatz zu neuer Computertechnik zu kommen, müssen Parkin und seine Mitarbeiter natürlich immer wieder nach grundlegend neuen physikalischen Effekten suchen. Für die interessiert sich Parkin jedoch nicht um ihrer selbst willen. „Die Grundlagen sind interessant, aber für mich ist es wichtig, dass sie auf lange Sicht eine mögliche Anwendung haben.“

So will er in Halle den Weg bereiten, damit Computer künftig einmal so energiesparend rechnen wie das Ge-

hirn eines Menschen oder einer Ratte. Dass der heute 60-Jährige bald das Rentenalter eines gewöhnlichen Arbeitnehmers erreicht hat, dürfte kein Hinderungsgrund sein. Sein Vertrag in Halle läuft jetzt schon bis zu seinem 70. Lebensjahr, und es gibt die Option, ihn bis 75 zu verlängern. Ruhestand kann man sich bei ihm jedenfalls kaum vorstellen, schon mit Urlaub hat er Schwierigkeiten. Für die Flitterwoche, die er und seine Frau in Schottland verbringen werden, haben die beiden daher einen Kompromiss geschlossen: Tagsüber arbeiten sie, abends machen sie frei.

Die Teilzeitferien – Claudia Felser spricht von einem Nano-Honeymoon – scheinen die probate Lösung nach ersten Erfahrungen mit einem Kurzurlaub. Wie die Forscherin erzählt, hätten sie auf den Fidschi-Inseln zwei Tage Station gemacht, als sie auf dem Weg von einer Konferenz in den USA zu einer Konferenz in Australien waren. „Als wir nach dem zweiten Tag nicht abreisen konnten, wurde er so hibbelig, dass er den dritten Tag kaum ausgehalten hat.“

GLOSSAR

Big Data: Dank digitaler Techniken lassen sich heute viel größere Datenmengen erfassen und verarbeiten als noch vor 20 Jahren. Das ermöglicht neue Ansätze in der Wissenschaft, wird aber auch von Wirtschaft und Geheimdiensten ausgenutzt.

Molekularstrahlepitaxie: Mit dieser Methode lassen sich ebenfalls sehr dünne Schichten herstellen, allerdings in Form eines einzigen Kristalls. Dabei wird eine Substanz verdampft und gelangt in Form eines gerichteten Strahls auf ein Trägermaterial. Dieses Verfahren ist langsam und erfordert ein sehr hohes Vakuum.

Sputter-Deposition: Eine Methode, um dünne Materialschichten zu erzeugen. Dabei werden mit einem Strahl geladener Edelgasatome Atome aus einem Material herausgeschlagen. Diese Atome scheiden sich anschließend in einzelnen Lagen auf einem Trägermaterial ab. Die Methode erzeugt dünne Schichten schneller als die Molekularstrahlepitaxie und erfordert kein so hohes Vakuum wie diese, sie ist daher vielseitiger und geeignet für die Massenproduktion.

Wer begleitet mich auf meinem Karriereweg?

Die Antwort:
academics.de,
der führende
Stellenmarkt für
Wissenschaftler

academics.de - das Ratgeber-Karriereportal mit Stellenangeboten, Themen-Spezialen und Services für die berufliche Laufbahn in Wissenschaft und Forschung. Inklusive Ratgeberinformationen zu Berufseinstieg, Gehälter in der Wissenschaft, Promotionsberatung, Alternative Karrierewege für Forscher u.v.m.

Sie suchen neue Mitarbeiter?

Informieren Sie sich jetzt unter academics.de/arbeitgeber

 **academics.de/maxplanck**
Das Karriereportal für Wissenschaft & Forschung