

effzett

DAS MAGAZIN AUS DEM FORSCHUNGSZENTRUM JÜLICH

2-15



Energy to go

Forscher entwickeln
die Batterie der Zukunft

ABSCHALTEN

Wie Licht Nervenzellen
steuert

AUFDECKEN

Waffenfähigem Uran
auf der Spur

ANSEHEN

Die Farben der
Zahlen



Was fliegt denn da?

Auf den ersten Blick wirkt es wie ein außerirdisches Riesen-Insekt auf Beutejagd. Einäugig und mit acht Propellern statt Flügeln schwebt es über das Feld. Aber halt: Das vermeintliche Alien hat nur Appetit auf Daten. Es fliegt noch nicht einmal von allein. Andreas Burkart, Doktorand am Institut für Bio- und Geowissenschaften (IBG-2), steuert das futuristische Flugobjekt. Das Auge des sogenannten Oktokopters ist nichts anderes als ein Objektiv, der Körper die Kamera. Mit ihrer Hilfe beobachtet Burkart aus etwa 100 Metern Höhe die Vegetation auf Wiesen oder Getreidefeldern.

Er kann so Aussagen über die Gesundheit der Pflanzen, die Reife ihrer Früchte oder auch den Artenreichtum treffen.

NACHRICHTEN

5

TITELTHEMA**Speichern
wie ein
Weltmeister**

Wer mobil sein will, braucht „energy to go“. Batterien und Akkus sollen noch leistungsstärker, günstiger und effizienter werden.

8

FORSCHUNG**Leuchtende
Zukunft**

Valentin Gordeliy steuert Nervenzellen mit Licht.

14

**Unerwartet
ähnlich**

Psychische Krankheiten zeigen im Gehirn auffällige Gemeinsamkeiten.

16

**Der kleine
Unterschied**

Warum ist unsere Welt, wie sie ist? Das fragen Kálmán Szabó und Stefan Krieg.

18

**Die
Nukleardetektive**

Sie finden heraus, was in Urananlagen tatsächlich produziert wird.

20

Test, Test, Test

Synästhetiker verknüpfen Farben mit Zahlen.

23

**Angriff der
Aschepartikel**

Neue Keramikschichten schützen Flugzeugturbinen.

24

RUBRIKEN**Aus der Redaktion**

4

Impressum

4

**Woran forschen
Sie gerade?**

19

2,2 plus

26

Gefällt uns

27

**Forschung in einem
Tweet**

28

Volle Ladung



↑ Die effzett fürs Tablet?
Entweder den QR-Code
mit dem Tablet scannen
oder über unsere
Internetseite:
www.fz-juelich.de/effzett



App
Store
(iPad/iOS)



Google
Play
(Android)

Strom aus Kompost, Zucker oder gar Urin? Hört sich kurios an, funktioniert aber. Britische Forscher haben eine Toilette entwickelt, in der bakterienbetriebene Brennstoffzellen Urin in Energie umwandeln. Damit wird es auf einem gut besuchten Klo nie dunkel. Klingt lustig, bedeutet jedoch in Ländern der Dritten Welt mehr Sicherheit: In unbeleuchteten Sanitäranlagen von Flüchtlingslagern kommt es nämlich häufig zu Angriffen, vor allem auf Frauen.

Kreative Ansätze sind auch für die mobile Welt gefragt. Der eigene Urin wird aber voraussichtlich nicht die Lösung sein, um künftig Smartphones oder Elektroautos zu versorgen. Vielleicht eher die atmende Batterie? Unsere Autorin Katja Lüers hat nachgefragt und berichtet ab Seite 8, mit welchen Wunderbatterien unsere täglichen Begleiter demnächst unter Strom stehen.

Wir wünschen Ihnen viel Spaß beim Lesen – und falls Sie gerade die „effzett“ auf Ihrem Tablet anschauen, auch einen vollen Akku.

Ihre effzett-Redaktion

Impressum

effzett Magazin des Forschungszentrums Jülich,
ISSN 2364-2327

Herausgeber: Forschungszentrum Jülich GmbH,
52425 Jülich

Konzeption und Redaktion: Annette Stettien,
Dr. Barbara Schunk, Christian Hohlfeld,
Dr. Anne Rother (V.i.S.d.P.)

Autoren: Marcel Bülow, Dr. Frank Frick,
Christian Hohlfeld, Katja Lüers, Christoph Mann,
Katharina Menne, Tobias Schlöber, Dr. Barbara
Schunk, Brigitte Stahl-Busse, Annette Stettien,
Ilse Trautwein, Erhard Zeiss, Peter Zekert

Grafik und Layout: SeitenPlan GmbH,
Corporate Publishing Dortmund

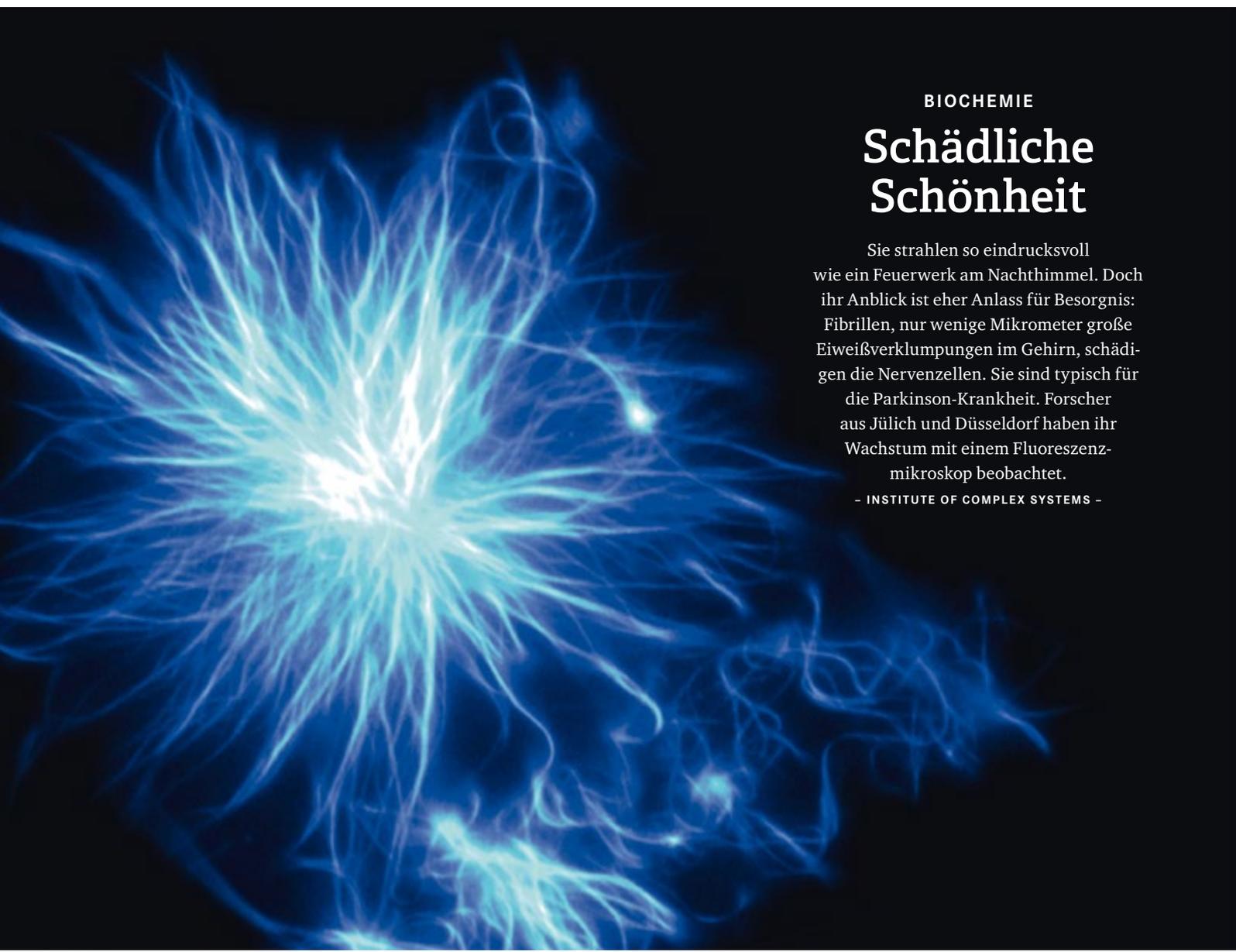
Bildnachweis: Forschungszentrum Jülich (5,
11, 12, 17), Forschungszentrum Jülich/Ralf-Uwe
Limbach (2, 3 li., M. o., 10, 15, 16, 18, 24 o.),
Forschungszentrum Jülich/IBS Grenoble (15 o.),
Forschungszentrum Jülich/Sascha Krecklau
(19, 20, 22 o.), © Airbus DS Geo GmbH (22 M.),
alejandro dans neergaard/Shutterstock (7 re.),
Árni Friðriksson (3 re.), Courtesy NASA/JPL-
Caltech (6 re.), Courtesy of Diamond Light Source
(6 li.), DLR/A. Minikin (26), xpert/Shutterstock
(22 u.), Sebastian Kaulitzki/Shutterstock (14),
Oleksiy Mark/Shutterstock (4), Nanking2012
(21), NASA (25), Nata-Lia/Shutterstock (7 li.),
privat (28), Rolls-Royce (24 u.), Stadtmarketing
Karlsruhe (27), Bernd Struckmeyer/SeitenPlan
[Illustrationen] (1, 8-9, 10, 12-13)

Kontakt: Geschäftsbereich
Unternehmenskommunikation,
Tel.: 02461 61-4661, Fax: 02461 61-4666,
E-Mail: info@fz-juelich.de

Druck: Schloemer Gruppe GmbH

Auflage: 6.000





BIOCHEMIE

Schädliche Schönheit

Sie strahlen so eindrucksvoll wie ein Feuerwerk am Nachthimmel. Doch ihr Anblick ist eher Anlass für Besorgnis: Fibrillen, nur wenige Mikrometer große Eiweißverklumpungen im Gehirn, schädigen die Nervenzellen. Sie sind typisch für die Parkinson-Krankheit. Forscher aus Jülich und Düsseldorf haben ihr Wachstum mit einem Fluoreszenzmikroskop beobachtet.

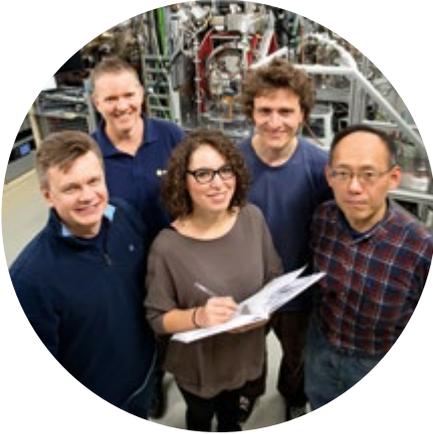
- INSTITUTE OF COMPLEX SYSTEMS -

NEUROWISSENSCHAFTEN

Die Pause macht den Unterschied

Nicht nur beim Lernen, auch beim Verlernen hilft es, sich regelmäßig Auszeiten zu gönnen. Das gilt zumindest für übermäßig synchrone Nervenzellen, wie Jülicher Neurowissenschaftler festgestellt haben. Sie hatten am Computer Zellen simuliert, die übermäßig und synchron Signale aussenden. Ein solches Fehlverhalten von Gehirnzellen findet sich bei Menschen mit Störungen wie Parkinson oder Tinnitus. Betroffene Zellen lassen sich wieder aus dem Gleichtakt bringen, indem sie über einen längeren Zeitraum nach einem bestimmten Muster mit Impulsen stimuliert werden. Die Computersimulationen zeigten, dass bereits schwache, eigentlich wirkungslose Impulse reichen könnten. Voraussetzung: Es gibt ausreichend lange Pausen zwischen den Stimulationen.

- INSTITUT FÜR NEUROWISSENSCHAFTEN UND MEDIZIN -



NANOMATERIALIEN

Tragfähig

Jülicher Physiker haben den Einsatz von Graphen ein Stück weit vorangebracht. Die spezielle Form des Kohlenstoffs wird weltweit erforscht, denn Graphen ist härter als Diamant, fester als Stahl und leitfähiger als Silizium. Für Anwendungen braucht der ultradünne Werkstoff aber immer ein Trägermaterial. Dieses kann unter anderem die elektronischen Eigenschaften des Graphens verändern. Wie stark diese Wechselwirkung ist, lässt sich nun mit einem einfachen Kriterium abschätzen, das Jülicher Forscher entwickelt haben. Der entscheidende Parameter dabei ist der atomare Abstand zwischen der Graphen-Schicht und dem Trägermaterial.

Mit seiner Kenntnis lassen sich gezielt neue Trägermaterialien suchen und bewerten.

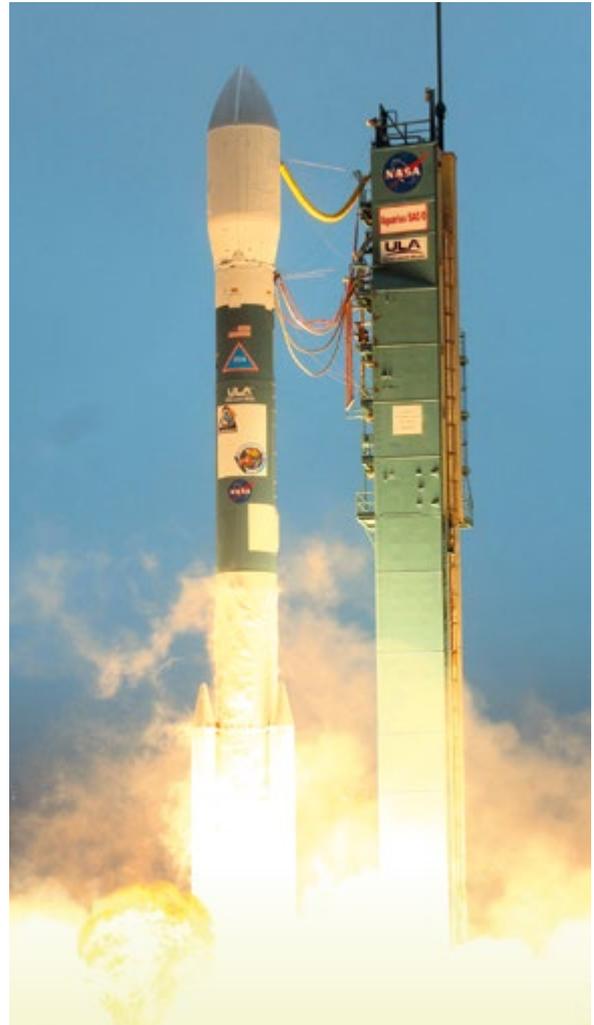
- PETER GRÜNBERG INSTITUT -

8

Partner ...

... ein Gedanke: Mobil sein und die Umwelt schonen, daran arbeiten derzeit das Forschungszentrum Jülich und sieben regionale Partnerunternehmen im Projekt Mobil.Pro.Fit. Die bundesweite Initiative berät Unternehmen und Einrichtungen, was etwa bei Dienstreisen, Fuhrpark und Arbeitswegen der Belegschaft verbessert werden könnte. Neue Ansätze könnten auch Kosten senken. Mobil.Pro.Fit. ist Teil der Nationalen Klimaschutzinitiative.

- STABSSTELLE ZUKUNFTSCAMPUS -



WASSERFORSCHUNG

Oben messen, unten prüfen

Seit Januar 2015 umkreist ein neuer Beobachtungssatellit die Erde: Soil Moisture Active Passive (SMAP) ist eine Entwicklung der amerikanischen Raumfahrtbehörde NASA und erfasst weltweit die Bodenfeuchte. Jülicher Forscher vergleichen die aus den Satellitendaten errechnete Bodenfeuchte mit Bodenmessungen, die sie an verschiedenen Standorten durchführen. Gibt es Abweichungen, kann die NASA ihre Berechnungen überprüfen und anpassen. Die Ergebnisse der Mission sollen dazu beitragen, die Zusammenhänge zwischen Wasser-, Energie- und Kohlenstoffflüssen besser zu verstehen und genauere Klima- und Wettermodelle zu ermöglichen.

- INSTITUT FÜR BIO- UND GEOWISSENSCHAFTEN -

BIOTECHNOLOGIE

Alkohol statt Zucker

Methanol ist giftig, leicht entzündlich und steht trotzdem hoch im Kurs, etwa als Kraftstoff oder zur Herstellung chemischer Substanzen wie Essigsäure. Künftig könnte der Alkohol verstärkt in der Biotechnologie zum Einsatz kommen – als Nahrung für Bakterien, die wichtige Substanzen wie Aminosäuren herstellen können. Bisher wird dafür hauptsächlich Zucker als Nährstoff eingesetzt. Jülicher Wissenschaftler haben den Bakterienstamm *Corynebacterium glutamicum* so verändert, dass er auch Methanol verwertet, das wiederum aus nachwachsenden Rohstoffen hergestellt werden kann.

Vor einem industriellen Einsatz gilt es jedoch, die Umsetzung des Alkohols durch das Bakterium weiter zu verbessern.

- INSTITUT FÜR BIO- UND GEOWISSENSCHAFTEN -



Angriff auf die Zellwand

Eine seltene Nebenwirkung des Schmerzmittels Ibuprofen sind Magenblutungen. Forscher aus Jülich und München haben eine mögliche Erklärung gefunden. In einem Modellsystem zeigten sie mithilfe von Neutronenstreuung, dass hohe Dosen des Wirkstoffs die Zellmembranen der Magenwände angreifen. Allerdings lagen die Konzentrationen weit über normalen Werten. Die Forscher halten es jedoch für denkbar, dass es kurzzeitig lokal zu hohen Konzentrationen kommen kann.

- JÜLICH CENTRE FOR NEUTRON SCIENCE -

NACHHALTIGER KREISLAUF

Im brasilianischen Goiânia startete Ende Januar das Forschungsprojekt PURESBio. Jülicher Pflanzenwissenschaftler koordinieren das deutsch-brasilianische Vorhaben. Es zielt darauf ab, organische Reststoffe aus Pflanzenanbau und Biogasproduktion in einem möglichst regional geschlossenen Nährstoffkreislauf nachhaltig zu nutzen.

ERSTMALS AUSGELESEN

Forschern aus Jülich, Dresden und Straßburg ist es gelungen, die Ausrichtung von Magnetwirbeln in winzigen Eisen-Silber-Scheiben elektrisch auszulesen. Dazu nutzten sie charakteristische Mikrowellen aus, die zwei übereinander liegende Nanoscheiben aussenden. Diese Bauteile könnten künftig als platz- und energiesparende Datenspeicher dienen.

FORSCHUNG FÜR ENERGIEWENDE

Mit 6,5 Millionen Euro unterstützt das Bundesministerium für Bildung und Forschung fünf Jülicher Projekte, die Materialien für effektive und bezahlbare Speicher entwickeln. Diese Speicher sind wichtig für die Energiewende: Sie sollen beispielsweise Schwankungen im Stromnetz ausgleichen, die bei der Energieerzeugung aus Wind oder Sonne auftreten können.



Akkus im Alltag

- 1 Laptop
- 2 Mobiltelefon
- 3 Motorsäge
- 4 Pedelec
- 5 Elektroauto
- 6 Hörgerät
- 7 Elektrorollstuhl
- 8 Solarbetriebener Parkscheinautomat
- 9 MP3-Player
- 10 Funkgerät
- 11 Pufferspeicher für die Photovoltaikanlage
- 12 Alarmanlage
- 13 Akku für die Versorgung eines Passagierflugzeugs
- 14 Weltraumsatellit

Speichern wie ein Weltmeister

Ob Smartphone, Akkuschauber oder Elektroauto – die mobile Welt steht und fällt mit dem Lithium-Ionen-Akku. Doch die Forschung verfolgt auch andere Ansätze, um „energy to go“ zur Verfügung zu stellen. Bisher gilt: Vieles ist denkbar, aber bis zur Marktreife ist es noch ein weiter Weg.





Prof. Rüdiger Eichel

leitet am Forschungszentrum Jülich das Institut für Energie- und Klimaforschung, Grundlagen der Elektrochemie (IEK-9). Hier erforschen der Physiker und sein Team grundlegende Zusammenhänge künftiger Energiespeicher und Energiewandler. Gemeinsam mit dem Karlsruher Nanowissenschaftler Prof. Horst Hahn (KIT) koordiniert Rüdiger Eichel als Sprecher die Batterieforschung aller Helmholtz-Zentren im Topic „Elektrochemische Energiespeicher“ des neuen Helmholtz-Programms „Speicher und vernetzte Infrastrukturen“ (SVI).



Immmer Ärger mit dem Handy-Akku – kommt Ihnen das bekannt vor? Erst neulich im Zug, da war es wieder so weit: Kaum hatte ich mich hingesezt und angefangen, Mails zu lesen, da schaltete sich mein Smartphone einfach aus – Akku leer. Was ich nicht wusste: Meine Tochter hatte morgens heimlich Sprachnachrichten an ihre Freundinnen verschickt und mit Hingabe ihre Schwestern fotografiert. Das Ladekabel lag zu Hause auf dem Küchentisch. In solchen Momenten frage ich mich – selbst als Naturwissenschaftlerin: Wieso können Menschen bis zum Mond fliegen, aber der Akku meines Handys übersteht nicht mal meine Tochter und eine Bahnfahrt? Und wo bleibt überhaupt der Superakku, von dem immer wieder die Rede ist? Früher ließ sich wenigstens „gefühl“ noch stundenlang mit dem Handy telefonieren, heute scheint zu gelten: Je neuer das Handy, umso schneller ist der Akku saftlos.

Der Jülicher Batterieforscher Rüdiger Eichel muss über solche Geschichten schmunzeln: „Der Eindruck täuscht.“ Der Lithium-Ionen-Akku, heute Standard in allen mobilen Geräten, ist leistungsfähiger denn je. „Kein wiederauflad-

barer Energiespeicher kann ihm zurzeit das Wasser reichen“, sagt der Physiker. Jedoch sind die heutigen Smartphones mit vielen stromfressenden Zusatzfunktionen ausgestattet: Schließlich will niemand mit dem Handy nur noch telefonieren, sondern auch filmen, fotografieren und spielen.

„Die Entwicklung der Lithium-Ionen-Technologie ist zweifelsohne eine Erfolgsgeschichte. Doch verglichen mit der Weiterentwicklung der Zusatzfunktionen für Handys oder auch Autos, geht es nur sehr langsam voran“, erklärt Eichel. Und von dem Superakku, der auf alle elektronischen Anwendungen passt, werden wir weiterhin nur träumen: „Die Rechnung kann nicht aufgehen: Vergleicht man eine Autobatterie mit einem Handyakku, wird schnell klar, dass wir jede aufladbare Batterie mit Blick auf die Anwendung zum Weltmeister in ihrer eigenen Disziplin machen müssen“, sagt Eichel.

Die Autobatterie beispielsweise muss sehr hohen Strom bei ganz unterschiedlichen Temperaturen liefern, sonst kann der Motor nicht beschleunigen. Diese hohen Stromdichten braucht das

Handy nicht. Stattdessen will man das Gerät möglichst lange benutzen – unterschiedliche Herausforderungen, die Batterieforscher wie Eichel lösen wollen. Statt des einen Superakkus wird es demnach ganz viele verschiedene Typen und Systeme geben, die eines vereint: Sie sind günstig, langlebig, effizient, sicher und leistungsstark.

TECHNOLOGIE IN DER PUBERTÄT

Batterieforscher verfolgen bei der Weiterentwicklung von Akkumulatoren, kurz Akkus, zwei Wege: Einerseits geht es darum, die Lithium-Ionen-Technologie zu optimieren. „Bezüglich des Energieinhalts steckt sie erst in der Pubertät und ist weit davon entfernt, reif zu sein“, formuliert es der Münsteraner Batterie-Experte Martin Winter. Zum anderen werden völlig neue Ansätze benötigt, die möglicherweise die „erwachsene“ Lithium-Ionen-Technologie eines Tages in ausgewählten Anwendungen ablösen. „Denn auch sie wird ihre Grenzen erreichen“, ist Eichel überzeugt.

Viele Forscher erwarten beispielsweise, dass die Reichweite eines Elektroautos mit Lithium-Ionen-Batterien niemals an die Reichweite eines Benzintanks herankommt. Und auch die immer energiehungrigeren Smartphones verlangen nach neuen Ansätzen. „Diese ganz neuen Batterietypen werden langfristig eine ökonomisch wie ökologisch zukunftsfähige Speicher- und Energieversorgung sicherstellen“, ergänzt Winter. Doch bis dahin werden noch Jahre ins Land gehen.

Winter ist daher davon überzeugt, dass die Akkumulatorforschung in den nächsten 15 Jahren von der Weiterentwicklung der Lithium-Ionen-Technologie getrieben wird: Benötigt werden nicht nur neue Materialien für den Plus- und Minuspol, sondern auch neue Elektrolyten – die stehen im Fokus des Helmholtz-Instituts Münster (HI MS). Der Elektrolyt ist das Medium in der Batterie, das den internen Ionen-Transport zwischen den beiden Elektroden, der Anode und der Kathode, übernimmt.

In klassischen Batterien wie der Blei-Säure-Starterbatterie gibt es wenig Spielraum für den Aufbau: Zwei Bleiplatten als Elektroden und flüssige Schwefelsäure als Elektrolyt versorgten schon im Ersten Weltkrieg U-Boote mit Energie und gehören heute noch zur Standardausrüstung eines jeden Autos mit Verbrennungsmotor. In der Lithium-Ionen-Technologie hingegen steht den Forschern ein riesiger Baukasten zur Verfügung. Die Elektrolyte können flüssig, fest oder keramisch sein. Auch für die Elektrodenbeschichtung werden laufend neue Materialien getestet, um eine optimale Zusammensetzung für die elektrochemische Zelle zu finden. „Dieser mögliche Materialmix macht die Forschung spannend, aber das Ergebnis auch so wenig vorhersagbar“, sagt Winter.

In den meisten gängigen Batterietypen auf dem Markt sind die Elektrolyte flüssig, teilweise sogar giftig und können in Brand geraten.



Prof. Martin Winter

ist Gründer und wissenschaftlicher Leiter des Batterieforschungszentrums MEET. Die Abkürzung MEET steht für „Münster Electrochemical Energy Technology“. Seit dem 1. Januar ist der Chemiker Direktor des neuen Helmholtz-Instituts Münster (HI MS). Das HI MS bündelt in der Elektrolytforschung für Batterien die Kompetenzen des Forschungszentrums Jülich, der Rheinisch-Westfälischen Technischen Hochschule Aachen und der Westfälischen Wilhelms-Universität Münster.

Die gebräuchlichsten Batteriesysteme

	ZINK-KOEHLE	ALKALI-MANGAN	SILBEROXID	LITHIUM	NICKEL-METALLHYDRID	NICKEL-CADMIUM	LITHIUM-IONEN
Spannung	1,5 V	1,5 V	1,55 V	3 V	1,2 V	1,2 V	3,6 V
Minuspol Anode	Zink	Zink	Zink	Lithium	wasserspeichernde Metalllegierung	Cadmium	Lithium-Kobalt-Verbindungen
Pluspol Kathode	Mangandioxid	Mangandioxid	Silberoxid	Mangandioxid	Nickelhydroxid	Nickelhydroxid	Graphit
Vorteile (+) und Nachteile (-)	+ günstige Herstellung - begrenzte Kapazität und Leistung	+ hohe Leistung + hohe Auslauf-sicherheit + gute Lagerfähigkeit	+ hoher Energiedichte + lange Lebensdauer - hohe Herstellungskosten	+ geringe Selbstentladung + hohe Energiedichte + gut lagerbar + temperaturunempfindlich - hohe Herstellungskosten	+ cadmiumfrei + hohe Energiedichte + hohe Kapazität - höhere Selbstentladung als Lithium-Ionen-Akkus - Lazy-Battery-Effekt	+ hohe Belastbarkeit + schnell ladefähig + kältefest bis -15 °C - umweltschädlich - geringe Energiedichte - Memory-Effekt	+ kein Memory-Effekt + geringe Selbstentladung + hohe Energiedichte + lange Haltbarkeit - empfindlich gegenüber vollständiger Entladung und Überladungen
Verwendung	• Wecker • TV-Fernbedienung • Taschenrechner	• MP3-Player • Taschenlampen • Rauchmelder • Blutdruckmessgeräte	• Armbanduhren • medizinische Geräte (z. B. Insulin-Einspritzgeräte)	• Digitalkameras • Smartcards • Alarm- und Ortungssysteme	• Spielzeuge • elektrische Zahnbürsten • schnurlose Telefone • E-Autos und -Fahrräder	• Not- und Alarmsysteme • medizinische Ausrüstung • Werkzeuge	• Mobiltelefone • Laptops • MP3-Player • E-Autos • Werkzeuge

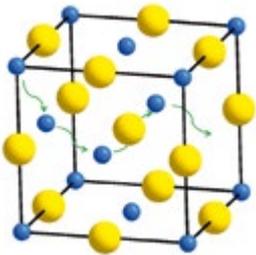
Quelle: „Die Welt der Batterien“, Herausgeber: Stiftung gemeinsames Rücknahmesystem Batterien, 2012

Die Jülicher Batterie



Im Labormaßstab funktioniert die Festkörperbatterie der Jülicher Wissenschaftler schon erstaunlich gut. Als Elektrolyt hat sie eine Spezialkeramik anstelle einer Flüssigkeit. Das verringert Probleme wie Auslaufen, Überhitzen, Abbrand und Giftigkeit.

Fest statt flüssig



Normalerweise leitet ein flüssiger Elektrolyt Lithium-Ionen während des Entladens von der Anode zur Kathode und isoliert die beiden Pole gleichzeitig elektrisch. Ein Festkörper kann diese Funktion aber auch übernehmen. Dafür geeignete Materialien haben Leerstellen in ihrer atomaren Gitterstruktur. Lithium-Ionen (blau) können sie besetzen und sich so „hüpfend“ durch den Festkörper bewegen.

»Das Feld jenseits der bewährten Technologie ist nahezu unbekannt und wartet nur darauf, entdeckt zu werden.«

Wissenschaftler des Forschungszentrums Jülich haben kürzlich einen keramischen Elektrolyten entwickelt. Der Ersatz des flüssigen Elektrolyten durch einen Feststoff entschärft Probleme wie Auslaufen, Überhitzen, Abbrand und Giftigkeit und ermöglicht eine hohe Energiedichte. Sie ist die wichtigste Größe, um unterschiedliche Batteriesysteme zu vergleichen. Die Energiedichte beschreibt, welche Energiemenge pro Gewicht oder Volumen in der Batterie gespeichert werden kann. Je größer die Energiedichte, umso kleiner und leichter wird der Akku bei gleicher Kapazität. „Unsere Feststoffbatterie ist aber noch weit von der Marktreife entfernt. Wir sprechen über Grundlagenforschung“, erklärt Eichel.

WEITES FELD – GROSSE CHANCEN

Zur Grundlagenforschung gehört auch die Suche nach Alternativen zum Lithium-Ionen-Akku. „Das Feld jenseits der bewährten Technologie ist nahezu unbekannt und wartet nur darauf, entdeckt zu werden“, sagt Eichel. Und genau dort liegt für ihn der Charme und die Chance: „Deutsche Wissenschaftler haben nahezu alle Möglichkeiten, sich auf dem Feld zu profilieren. Da laufen wir niemandem hinterher!“

Die momentane „Wunderbatterie“-Palette reicht vom Metall-Luft-Akku über die Lithium-Schwefel- und Magnesium-Ionen-Batterie bis hin zur aufladbaren „Grünen Batterie“, die auf organischen Materialien basiert – ein marktreifer Durchbruch steht jedoch noch aus.

In Jülich beschäftigen sich Forscher unter anderem mit Metall-Luft-Akkus. Solche „atmenden“ Batterien haben einen erheblichen Gewichtsvorteil gegenüber anderen Typen, da sie einen der Hauptbestandteile nicht mit sich umhertragen müssen: den Sauerstoff. „Wir verfolgen verschiedene Konzepte von Eisen-Luft über Alu-Luft

bis Zink- und Silizium-Luft“, erklärt Eichel. Metall-Luft-Akkus versprechen theoretisch eine Energiedichte, die in der Größenordnung von Benzin liegt. Problematisch sind unter anderem die noch unverständlichen elektrochemischen Reaktionen, die den Lade-Entlade-Zyklus stark einschränken: Eine Eisen-Luft-Batterie beispielsweise lässt sich zurzeit im Labor nur 10- bis 20-mal aufladen – für eine marktreife Anwendung braucht man 1.000 Zyklen.

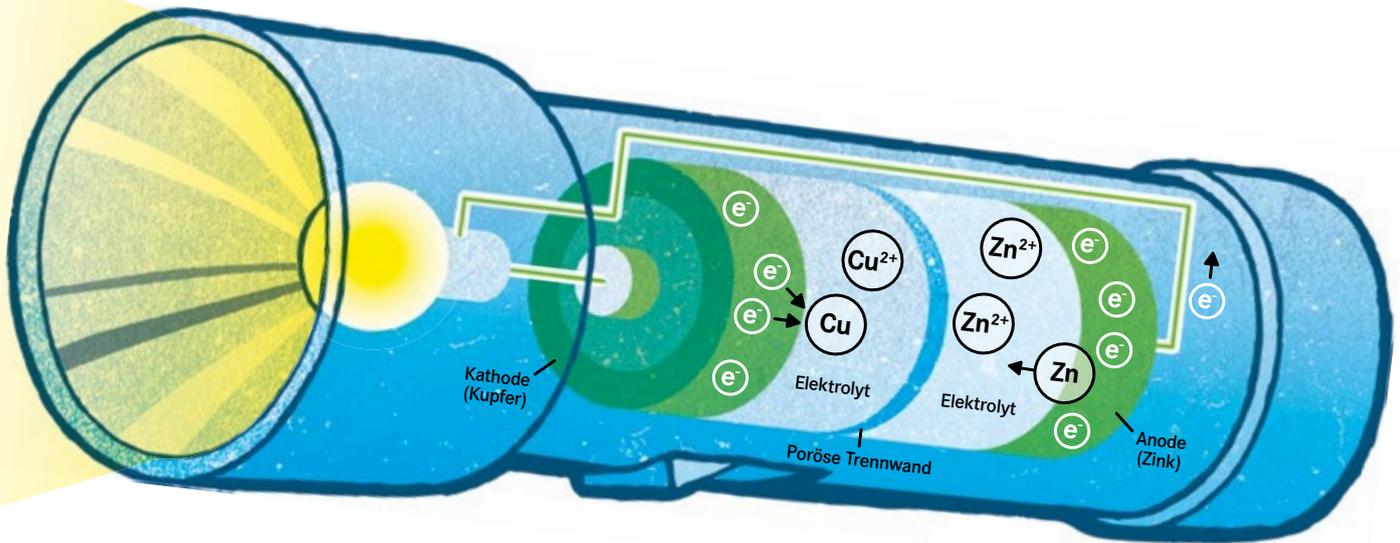
Für Eichel ist es trotzdem das Konzept, das den größten Fortschritt verspricht. Martin Winter ist da zurückhaltender: „Bis zum Durchbruch werden noch Jahrzehnte vergehen.“ Das gilt für die gesamte Wunderbatterie-Palette.

Einig sind sich die beiden Forscher, dass die Batterieforschung als multidisziplinäres Gebiet viel Zeit braucht: Die Lithium-Ionen-Akkus speichern dreimal so viel Energie pro Gewicht wie die ersten kommerziellen Versionen von Sony aus dem Jahr 1991. „Das hat aber auch 20 Jahre gedauert“, sagt Winter.

Ich brauche also Geduld. Aber es besteht Hoffnung, dass mein Smartphone eines Tages die heimlichen „Angriffe“ meiner künftigen Enkelkinder übersteht und mich anschließend im Zug begleitet – energiegeladen von Nord- nach Süddeutschland.

KATJA LÜERS





So funktioniert eine Batterie

Eine Batterie wandelt chemische Energie in elektrische um, hier gezeigt am Beispiel einer Zink-Kupfer-Batterie. Zinkatome (Zn) geben beim Entladen Elektronen (e^-) an die Anode (Minuspol) ab. Dabei werden sie zu Zinkionen (Zn^{2+}). Die Elektronen fließen über einen elektrischen Leiter als Strom zur Kathode, dem Pluspol. So können sie zum Beispiel ein Lämpchen zum Leuchten bringen. Am Pluspol nehmen Kupferionen (Cu^{2+}) die Elektronen auf und werden zu Kupfer (Cu). Damit der Stromkreis geschlossen ist, wandern geladene Teilchen (Ionen) aus dem Elektrolyten wieder zum Minuspol.

Forschung auf Augenhöhe

Bis Mitte der 1980er Jahre war die Batterieforschung und -produktion ein Aushängeschild der deutschen Chemie-Industrie und der Elektrotechnik. Doch dann kam der Einbruch: Die gesamte Unterhaltungselektronik wanderte nach Asien ab und mit ihr das Batterie-Wissen. In der Bundesrepublik herrschte nahezu 30 Jahre Stillstand. Diese Flaute ist – dank Energiewende und Propagierung der Elektromobilität – inzwischen überwunden.

„Das liegt auch daran, dass sich neue Einsatzgebiete für Batterien aufgetan haben: Sie sind nicht nur interessant für portable Geräte wie Smartphone, Tablet-PC und Laptop, sondern auch für Elektroautos und Hybridfahrzeuge. Die zunehmende Elektrifizierung des Antriebs wird in den kommenden Jahrzehnten erhebliche Auswirkungen auf den Markt für Batterien und Komponenten haben. Und auch Großbatterien als stationäre Energiespeicher-Systeme sind in der Diskussion“, erklärt Martin Winter.

Für die Bundesrepublik ist das eine wichtige Entwicklung, denn es gelten sowohl die Energie- als auch die Automobilwirtschaft als Säulen der deutschen Wirtschaft. Die Batterieforschung für Elektroautos ist ein Aushängeschild des Bundesforschungsministeriums (BMBF). Bald sollen die besten Batterien aus Deutschland kommen. „Wir wollen Innovationsweltmeister werden“, sagt Bundesforschungsministerin Johanna Wanka. Das BMBF fördert seit 2007 die Batterieforschung, etwa die Innovationsallianz „Lithium-Ionen-Batterie 2015“ mit 60 Millionen Euro.

„Die deutsche Batterieforschung ist wieder erstklassig. In einigen Bereichen können wir inzwischen sogar mit Asien als Global Player mithalten“, bilanziert Winter. Sein Jülicher Kollege Rüdiger Eichel bestätigt das: „Wir forschen auf Augenhöhe.“

Neue Jülicher Projekte im BMBF-Programm „Materialforschung für die Energiewende“ sind:

AlSiBat Weiterentwicklung und Erprobung von Aluminium-Luft- und Silizium-Luft-Batterien

- Laufzeit: bis Mitte 2017
- Fördersumme: 2,3 Millionen Euro, davon an Jülich 0,7 Millionen Euro

DESIREE Entwicklung von Kathodenmaterialien für sichere und leistungsfähigere Lithium-Ionen-Batterien der nächsten Generation

- Laufzeit: bis Mitte 2017
- Fördersumme: 3,4 Millionen Euro, davon an Jülich 1,3 Millionen Euro

SABLE Verknüpfung von bildgebenden Verfahren mit spektroskopischen und mikroskopischen Techniken, um Prozesse in elektrochemischen Bauteilen bis in den Nanobereich zu untersuchen

- Laufzeit: bis Ende 2015
- Fördersumme: 2,9 Millionen Euro

KATJA LÜERS

Leuchtende Zukunft

Eine neue Methode erhellt das Denken: Die Optogenetik nutzt spezielle Proteine, um Nervenzellen im Gehirn mit Lichtimpulsen zu steuern. Ein Jülicher Strukturbiologe hat dafür jetzt ein weiteres Werkzeug entdeckt.

Wenn Biologen ein neues Bakterium aus dem Ozean fischen, sorgt das außerhalb von Fachkreisen selten für große Aufmerksamkeit. Bei der Entdeckung des Meeresbakteriums *Krokinobacter eikastus* 2006 war das zunächst nicht anders. Doch wenige Jahre später elektrisierte es Wissenschaftler rund um den Globus: 2013 wurde in seiner Zellwand eine winzige biologische Pumpe mit besonderen Eigenschaften entdeckt. Aus einem einzelnen Proteinmolekül bestehend, befördert sie geladene Natrium-Teilchen, sogenannte Ionen, aus der Zelle – und das mit Solarantrieb.

„Es war gleich klar, dass uns diese Pumpe beschäftigen würde“, sagt Prof. Valentin Gordeliy. „Denn solche lichtgesteuerten Proteine haben in den letzten Jahren enorme Bedeutung erlangt: Sie sind Werkzeuge für ein ganz neues Forschungsfeld, die Optogenetik, geworden“, erklärt der Forscher vom Jülicher Institute of Complex Systems (ICS-6). In der Optogenetik schleusen Wissenschaftler solche Proteine beispielsweise in die Membran von Nervenzellen ein. Wenn Ionen-Pumpen und -Kanäle – je nach Belichtung – verschieden geladene Teilchen in die Zelle befördern, kann ein Neuron aktiviert und wieder stillgelegt werden.

Um die Struktur von Proteinen mit Röntgenbeugung zu entschlüsseln, müssen die Moleküle wie hier als Kristalle vorliegen.



International vernetzt: Prof. Valentin Gordeliy entschlüsselt in Jülich, Grenoble und Moskau die Baupläne von Proteinen.



Die Proteine werden damit zu molekularen Schaltern. „Durch das gezielte An- und Ausschalten von Nervenzellen können Hirnforscher das Zusammenspiel neuronaler Schaltkreise viel genauer als bisher erforschen“, so Gordeliy.

Allerdings ist der optogenetische Werkzeugkasten bis jetzt noch übersichtlich, nur wenige Proteine kommen bislang dafür in Frage. Sie sind zudem nur für bestimmte Ionen durchlässig. Ein Neuzugang wie die KR2 getaufte Pumpe des Bakteriums war daher hochwillkommen. Für die gezielte Nutzung fehlten aber noch entscheidende Informationen: „So ein neues Proteinmolekül ist wie eine unbekannte Maschine – man sieht, was sie bewirkt, aber zunächst nicht, wie sie das schafft“, erläutert der Forscher. Um die genauen Mechanismen zu verstehen, braucht es den Bauplan – und der ist bei KR2 äußerst komplex. Über 4.400 einzelne Atome sind enthalten – und die Position jedes einzelnen muss bestimmt werden, um die vollständige Struktur zu erhalten.

Die Entschlüsselung solcher Baupläne ist die Spezialität von Valentin Gordeliy und seinen Mitarbeitern, die sich auf Standorte in drei Ländern verteilen. Neben dem Team in Jülich leitet der Experte für Strukturbiologie Forschungsgruppen im französischen Grenoble und in Moskau. „Trotz der räumlichen Trennung stehen wir alle in ständigem Kontakt und arbeiten Hand in Hand“, sagt Gordeliy.

Mithilfe der Röntgenkristallografie verschafften sich Gordeliy und seine Mitarbeiter Vitaliy Schevchenko, Ivan Gushchin und Vitaliy Polovinkin einen Einblick in die Struktur von KR2. „Auf den hochaufgelösten Bildern fiel uns eine ungewöhnliche Formation genau dort auf, wo die Ionen im Zellinneren aufgenommen werden“, berichtet Gordeliy. Die Forscher vermuteten darin den Filter der Pumpe, der nur eine Sorte Ionen durchlässt.

MASSGESCHNEIDERTE PUMPEN

„Wir ahnten, dass noch weitere lichtgetriebene Pumpen mit anderen Eigenschaften möglich sind, wenn man dieses Filterelement manipuliert“, erinnert sich der Wissenschaftler. Im Jülicher Labor tauschten sie deshalb durch Mutation gezielt einzelne Aminosäuren aus und tatsächlich: KR2 verwandelte sich in eine Pumpe für Kalium-Ionen. Das Ergebnis konnte in gemeinsamen Experimenten mit Prof. Ernst Bamberg vom Frankfurter Max-Planck-Institut für Biophysik, einem der Begründer der Optogenetik, bestätigt werden.

Das ist für optogenetische Anwendungen sogar noch interessanter als die ursprüngliche Natrium-pumpende Variante, denn Kalium findet sich in Nervenzellen etwa zehnmal häufiger. Hinzu kommt: Unter natürlichen Bedingungen sorgt der Transport von Kalium-Ionen aus der Zelle dafür, dass feuerverne Neuronen wieder in den Ruhezustand zurückkehren. Mit der neuen KR2-Variante könnte sich dies durch Licht kontrollieren lassen – und eine optogenetische Kalium-Pumpe als naturnaher und mutmaßlich besonders effektiver Aus-Schalter für Nervenzellen dienen.

Während ein Teil der Gruppen nun daran arbeitet, die Kalium-Variante von KR2 in Zellen einzubauen, plant Gordeliy schon den nächsten Umbau des Moleküls. Maßgeschneiderte Pumpen für Kalzium-Ionen und andere Elemente sollen entstehen. Darüber hinaus untersuchen die Forscher Strukturen anderer lichtaktivierter Membranproteine. Nach und nach füllt sich der optogenetische Baukasten. Und Jülicher Forscher tragen dazu bei.

Unerwartet ähnlich

Anne hat Panik vorm Fahrstuhlfahren, Max hält eine bleierne Müdigkeit tagelang im Bett. „Angststörung“ beziehungsweise „Depression“ lautet die Diagnose. So unterschiedlich die beiden psychischen Erkrankungen auch sind: Sie haben Gemeinsamkeiten im Gehirn.



↑ **Der Neuropsychologe und Hirnforscher Prof. Simon Eickhoff arbeitet sowohl am Forschungszentrum Jülich als auch an der Heinrich-Heine Universität in Düsseldorf.**

Die Etagennummer blinkt, die Fahrstuhlglöcke läutet. Jetzt heißt es tief durchatmen, weiß Anne*. Sonst kommen wieder die heftigen Schweißausbrüche, das Herzrasen und die Angst. An manchen Tagen geht sie deswegen die fünf Etagen lieber gleich zu Fuß hoch ins Büro. Seit einigen Monaten versucht Anne, die Angst mithilfe einer Psychiaterin in den Griff zu bekommen. In die Sprechstunde kommt auch Max*. Dem Medizintechniker macht vor allem die bleierne Müdigkeit während eines depressiven Schubs zu schaffen. Manchmal steht er tagelang nicht auf.

DIE SPITZE DES EISBERGS

„Psychische Erkrankungen wie Angststörungen oder Depressionen äußern sich zwar ganz verschieden, doch Krankheitssymptome wie Herzrasen oder bleierne Müdigkeit sind nur die Spitzen des Eisbergs“, sagt Simon Eickhoff. Der Hirnforscher weiß: Ein großer Teil dessen, was die Krankheiten ausmacht, liegt wie bei den Eisbergen im Verborgenen – statt unter der Meeresoberfläche gleich hinter der Stirn im Innern unseres Gehirns.

Weltweit untersuchen Wissenschaftler, was im Kopf passiert, wenn Menschen unter extremer Angst oder Depressionen leiden. Seit einigen Jahren lassen bildgebende Untersuchungsmethoden wie die Magnetresonanztomografie (MRT) Einblicke in die menschliche Schaltzentrale zu. Zahlreiche Studien sind entstanden, die mithilfe

dieser Methoden die Struktur und Funktionsabläufe unseres Gehirns analysieren.

Simon Eickhoff hat gemeinsam mit Forscherkollegen von der kalifornischen Stanford University die Ergebnisse von 193 solcher Studien zusammengefasst und ausgewertet – in einer sogenannten Meta-Analyse (Info am Rand). Sie umfasst Daten von über 7.300 Patienten mit unterschiedlichen Krankheitsbildern wie Angststörungen, Depressionen oder Schizophrenie sowie Daten von etwa 8.500 gesunden Personen.

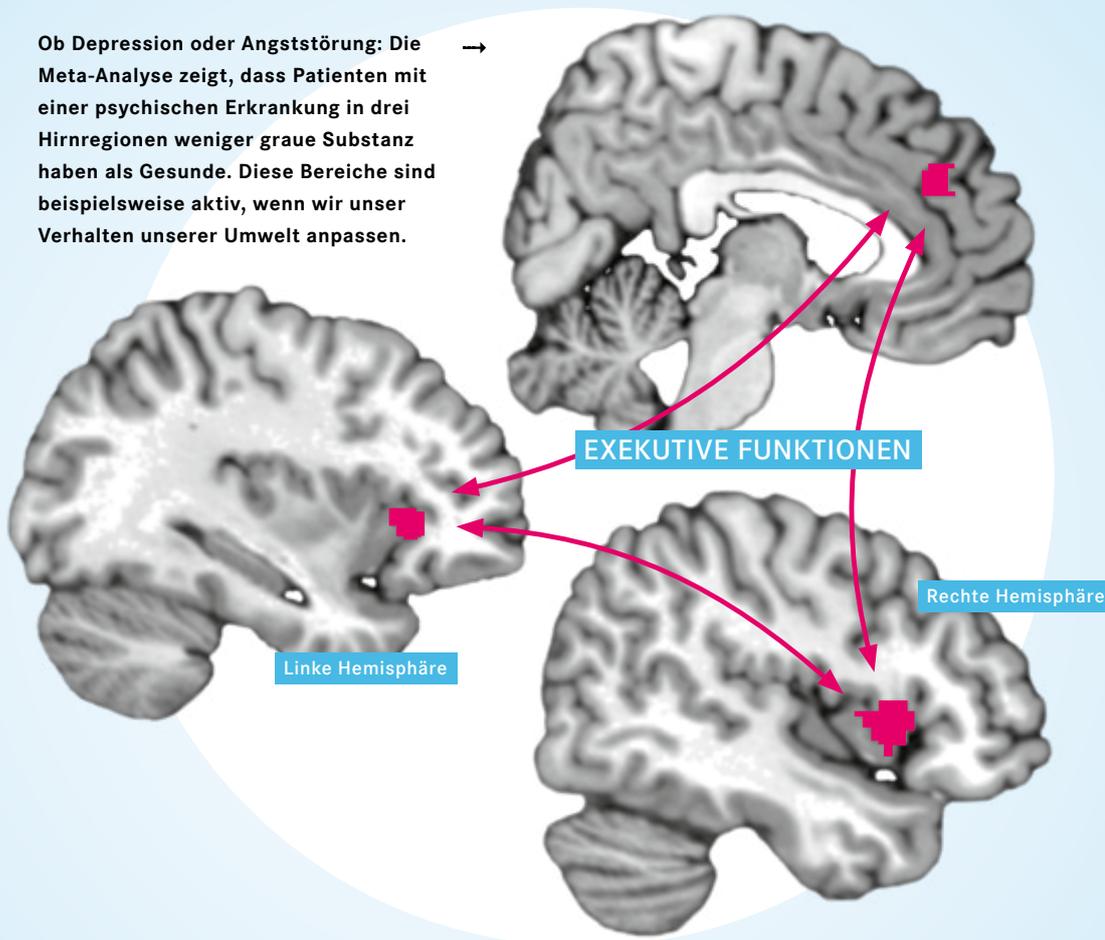
Das Ergebnis überrascht. „So unterschiedlich die Symptome dieser psychiatrischen Erkrankungen auch sind, im Gehirn der Betroffenen gibt es eine Gemeinsamkeit: Unabhängig von der Art der Erkrankung befindet sich in bestimmten Hirnregionen weniger graue Hirnsubstanz als bei Gesunden“, berichtet der Psychiater.

Betroffen sind der sogenannte dorsale anteriore cinguläre Kortex sowie der rechte und linke Teil der vorderen Inselrinde im Gehirn. Diese Regionen sorgen beispielsweise dafür, dass wir uns auf eine bestimmte Aufgabe konzentrieren können und nicht von Geräuschen oder anderen Reizen ablenken lassen – etwa wenn wir eine Mathematikaufgabe lösen oder uns an den letzten Sommerurlaub erinnern.

Ob die verringerte Hirnsubstanz bei den Patienten nun eine Folge oder Ursache der Erkrankung

* Name von der Redaktion geändert

→
Ob Depression oder Angststörung: Die Meta-Analyse zeigt, dass Patienten mit einer psychischen Erkrankung in drei Hirnregionen weniger graue Substanz haben als Gesunde. Diese Bereiche sind beispielsweise aktiv, wenn wir unser Verhalten unserer Umwelt anpassen.



ist, wissen die Forscher noch nicht. „Das ist die typische Henne-Ei-Problematik“, erklärt Simon Eickhoff.

VIELE TAUSEND DATENSÄTZE

Doch was bringen nun die Ergebnisse für den Klinikalltag? Für die nahe Zukunft zunächst nichts Konkretes, denn: „Die Ergebnisse der Meta-Analyse lassen keine Aussage über den einzelnen Patienten zu. Es handelt sich um Mittelwerte aus vielen Tausend Datensätzen“, betont Eickhoff. Außerdem seien in den heute üblichen ausführlichen Patientenaufnahmegesprächen viele Erkrankungen gut einzugrenzen. Hier stünden die Symptome im Mittelpunkt. Häufig schlossen sich daran noch ergänzende Tests oder organische Untersuchungen an, um physische Erkrankungen auszuschließen.

Künftige Forschungsarbeiten müssen nach Eickhoffs Einschätzung zunächst nun zeigen, ob die gemeinsamen biologischen Merkmale auch

mit Gemeinsamkeiten in den verschiedenen Krankheitsbildern verknüpft sind und damit einen Ansatz für ähnliche Therapien bieten. Zudem ist der Einsatz von bildgebenden Untersuchungsmethoden derzeit nicht die Regel – nicht zuletzt aufgrund der hohen Kosten. Bei unklaren Fällen oder bei Erkrankungen mit einem fortschreitenden Verlauf wie Parkinson oder einer Schizophrenie wären mehrere Untersuchungen über einen längeren Zeitraum hinweg perspektivisch aber durchaus sinnvoll, so der Wissenschaftler.

Auch Max könnte davon profitieren. Seine akuten depressiven Phasen lassen sich in der Regel gut behandeln. Aber wenn die Forschung weitere Fortschritte macht, könnte es vielleicht schon in einigen Jahren möglich sein, an bestimmten Veränderungen im Gehirn zu erkennen, wie hoch das Risiko eines erneuten Schubs für ihn ist.

ILSE TRAUTWEIN

Was ist eine Meta-Analyse?

Bei einer Meta-Analyse werten Wissenschaftler am Computer Untersuchungsergebnisse aus einer Vielzahl einzelner Forschungsstudien aus. Die Ergebnisse der Meta-Analyse sind aussagekräftiger als die Resultate einzelner Studien: Da sehr viele Patientendaten berücksichtigt werden, zeigt sich beispielsweise, ob eine Auffälligkeit überproportional häufig vorkommt oder nur ein individueller Effekt ist. Die Daten aus verschiedenen bildgebenden Untersuchungen des Gehirns wertete der Jülicher Simon Eickhoff mit einer speziellen Software aus (ALE – kurz für activation likelihood estimation), an deren Entwicklung er bereits seit seiner Promotion mitarbeitet. Die Software ist nötig, um unterschiedliche Aufnahmen zu vergleichen und Gemeinsamkeiten herauszufiltern.

193

Studien zu psychischen Erkrankungen haben die Forscher ausgewertet.

Der kleine Unterschied

0,14

Prozent ist das Neutron schwerer als das Proton.

Unser Universum beruht darauf, dass Neutronen etwas schwerer sind als Protonen. Forschern ist es gelungen, den winzigen Masseunterschied jetzt auch zu berechnen.

Zwei Jahre hat es gedauert. So lange waren die Jülicher Supercomputer JUQUEEN und JURO-PA damit beschäftigt auszurechnen, dass das Neutron um gerade einmal 0,14 Prozent schwerer ist als das Proton – genau genommen um die Winzigkeit von $2,3 \cdot 10^{-30}$ Kilogramm. Ein äußerst kleiner, aber entscheidender Unterschied, denn die Stabilität der Atome und die Verteilung der chemischen Elemente, wie wir sie kennen, beruht darauf. So besagt es das Standardmodell der Teilchenphysik. Mit einer anderen Massendifferenz würde unser Universum wahrscheinlich völlig anders aussehen: Mehr Neutronen, weniger Wasserstoff und eine völlig andere chemische Zusammensetzung von Stoffen wären die Folge.

Experimentell kennen Wissenschaftler den kleinen Unterschied schon seit rund 80 Jahren. Dass er jetzt auch aus den theoretischen Modellen berechnet werden kann, feiern viele Physiker als Durchbruch. „Unsere Simulation ist

eine weitere Bestätigung des Standardmodells. Der berechnete und der experimentelle Wert stimmen innerhalb der Fehlergrenzen überein. Das zeigt, dass die theoretischen Annahmen bei der Berechnung richtig sind“, sagt Prof. Kálmán Szabó vom Jülich Supercomputing Centre. Er und sein Kollege Dr. Stefan Krieg gehören zu einem internationalen Team aus Deutschland, Frankreich und Ungarn, das die Simulation entwickelt und durchgeführt hat.

ENORMER RECHENAUFWAND

„Bisher gab es weder die Methoden noch die entsprechenden leistungsfähigen Computer, um die winzige Differenz so präzise zu bestimmen“, sagt Szabó. Denn der Rechenaufwand ist enorm: Es müssen verschiedene Wechselwirkungen sowie die Massen der Elementarteilchen berücksichtigt werden, aus denen sich Neutron und Proton zusammensetzen. „Erst mit der neuen Supercomputer-Generation und den von uns entwickelten verbesserten Simulationsverfahren ist es möglich geworden, alle theoretisch vorhergesagten Effekte zu berücksichtigen“, so der Jülicher Forscher.

Der Physiknobelpreisträger Frank Wilczek setzt große Hoffnung auf das neue Simulationswerkzeug: „Denkbar sind wesentlich genauere Modellierungen von Supernova-Explosionen und so seltsamen Objekten wie Neutronensternen. Der Traum einer verfeinerten Nuklearchemie könnte näher rücken, etwa von verbesserten Energiespeichern und Ultrahochenergie-Lasern.“ Auch Szabó erhofft sich neue Erkenntnisse: „Mein Ziel ist es, mit den präziseren Methoden Hinweise auf eine neue Physik jenseits des Standardmodells zu finden. Hinweise darauf, dass die derzeit akzeptierten Theorien noch längst nicht ausreichen, um unser Universum vollständig zu beschreiben.“



↑ Geduld zahlt sich aus: Prof. Kálmán Szabó (l.) und Dr. Stefan Krieg haben Supercomputer wie JUQUEEN zwei Jahre lang rechnen lassen.



↑

Woran forschen Sie gerade, Frau Vossel?

Dr. Simone Vossel, Leiterin einer BMBF-Nachwuchsgruppe am Institut für Neurowissenschaften und Medizin, Bereich Kognitive Neurowissenschaften

„Ständig senden unsere Sinnesorgane Signale an das Gehirn. Wir schenken aber nicht allen dieselbe Aufmerksamkeit, ein Teil bleibt sozusagen unscharf. Wie wählt unser Gehirn die gerade wichtigen Signale aus, und welche Hirnregionen sind daran beteiligt? Das möchte ich herausfinden. Verstehen wir dies beim gesunden Menschen, können wir Wahrnehmungsstörungen etwa bei Schlaganfallpatienten besser erklären und ihnen helfen, verloren gegangene Fähigkeiten wiederzuerlangen.“

Die Nuklear-detektive

Die Internationale Atomenergie-Organisation IAEA soll Staaten aufspüren, die heimlich nukleares Material für Atomwaffen herstellen oder verbreiten. Ein Jülicher Team unterstützt sie dabei.



»Die Spuren können verraten, ob ein Betreiber seine Anlage missbraucht, indem er waffenfähiges Uran produziert.«

Dr. Martin Dürr

Für die meisten Eltern mit Babys und Kleinkindern sind Einmal-Feuchttücher unverzichtbar – um den Kleinen den Po abzuwischen oder ihnen unterwegs die Hände zu säubern. Genau wie diese sanften Alltagshelfer sieht das Tuch aus, das Dr. Martin Dürr gerade in der Hand hält. Er steht dabei jedoch nicht am Wickeltisch, sondern in einem Besprechungsraum der Arbeitsgruppe „International Safeguards“ (deutscher Name: „Internationale Kernmaterialüberwachung“) vom Jülicher Institut für Energie- und Klimaforschung (IEK-6). „Dies ist ein wichtiges Utensil, um Staaten auf die Schliche zu kommen, die sich nicht an den Atomwaffensperrvertrag halten“, sagt Dürr. 191 Staaten sind diesem Abkommen bisher beigetreten, das sie zur Nichtverbreitung von Atomwaffen verpflichtet. Indien, Pakistan, Israel und der Südsudan haben das Abkommen nicht unterzeichnet, Nordkorea hat den Vertrag gekündigt.

Mit den Tüchern führen Inspektoren der IAEA Wischproben in Nuklearanlagen durch: Sie fahren mit dem Tuch über verwinkelte Rohre oder über die Schuhe der Beschäftigten. Dass diese dabei sauberer werden, ist unwichtig. Entscheidend ist, was das Tuch aufnimmt: neben herkömmlichem Staub zum Beispiel auch kleinste Spuren Uran. „Diese Spuren können beispielsweise verraten, ob ein Betreiber seine Anlage wirklich nur wie deklariert nutzt, um Uran für Kernkraftwerke herzustellen, oder auch heimlich missbraucht, indem er anderes, waffenfähiges Uran produziert“, so Dürr.

Vor Ort können die Inspektoren die komplizierte Spurenanalyse nicht durchführen. Daher legen sie das Tuch in einen kleinen Kunststoffbeutel – so sorgsam, wie Spurensicherer der Polizei eine Textilfaser oder eine Scherbe verpacken, die

sie an einem Tatort gefunden haben. Der Beutel kommt in eine Box, die der Inspektor anschließend versiegelt. So stellt er sicher, dass niemand die Proben nachträglich manipulieren kann: Erwischte Nuklearsünder würden ansonsten die Möglichkeit nutzen, das Ergebnis anzuzweifeln und sich als Verschwörungsoffer auszugeben. Vorkehrungen gegen die Radioaktivität müssen die Inspektoren hingegen nicht treffen: „Es gehen keine gesundheitliche Gefahren von dem Tuch aus, weil die Mengen des radioaktiven Materials darauf äußerst gering sind“, sagt der Jülicher Forscher.

WELTWEIT VERNETZT

Die versiegelte Box geht auf die Reise zum zentralen Labor der IAEA in Wien – dem „Office of Safeguards Analytical Services“. Dort werden die eintreffenden Tücher oberflächlich auf radioaktive Stoffe hin untersucht, zunächst ohne sie überhaupt aus dem Kunststoffbeutel auszupacken. Dann entscheiden die IAEA-Experten, wie die Detektivarbeit weiter fortgesetzt wird. Haben sie bei der ersten Untersuchung Hinweise auf nukleares Material in ungewöhnlicher Zusammensetzung gefunden, ordnen sie eine besonders gründliche weitergehende Analyse an, um möglichen illegalen Aktivitäten auf die Schliche zu kommen. Da zahlreiche Proben untersucht werden müssen, senden sie viele davon an eines der zwölf externen Labore, die zum weltweiten Netzwerk der IAEA gehören. Ein solches Netzwerk hat auch den Vorteil, dass Labore in verschiedenen Ländern das Resultat der Analyse überprüfen können, wenn es vom betreffenden Anlagenbetreiber oder der verantwortlichen Regierung bezweifelt wird.

Die Netzwerklabore arbeiten ständig an Möglichkeiten, den Wischtüchern zusätzliche Informa-



tionen zu entlocken. „Herkömmlicherweise wird das gesamte Material der Wischprobe gemeinsam analysiert, das von Tausenden von Teilchen auf dem Tuch stammt. Seit einigen Jahren entwickeln die Netzwerklabore vor allem Methoden weiter, mit denen man einzelne uran- oder plutoniumhaltige Teilchen der Wischprobe untersuchen kann“, erklärt Dürrs Chefin Dr. Irmgard Niemeyer. Sie steht in engem Kontakt mit den IAEO-Experten und ist das einzige deutsche Mitglied in der „Standing Advisory Group on Safeguards Implementation“, die den IAEO-Generaldirektor Yukiya Amano berät.

Einzelne Partikel zu analysieren ist eine besondere Herausforderung: Die Teilchen sind weniger als ein Tausendstel Millimeter groß, und die Methode muss in der Lage sein, auch äußerst geringe Mengen präzise zu erfassen. Da beim Wischen mitunter eine ganze Menge normaler Staub und Dreck mitaufgenommen wird, gleicht diese Prozedur der sprichwörtlichen Suche nach der Nadel im Heuhaufen. Doch dieses Vorgehen liefert den Nukleardetektiven der IAEO wertvolle

Informationen: Sie können dadurch das Verhältnis von verschiedenen schweren Uran-Atomen, den Uran-Isotopen, in einzelnen Partikeln bestimmen. Daraus ermitteln sie, ob in einer Anlage das Uran höher mit besonders leicht spaltbarem Isotop angereichert wurde als angegeben. Sie entdecken auch, ob in der Anlage von Anfang an ein anderes Uranmaterial eingesetzt wurde als behauptet.

QUALITÄT NACHWEISEN

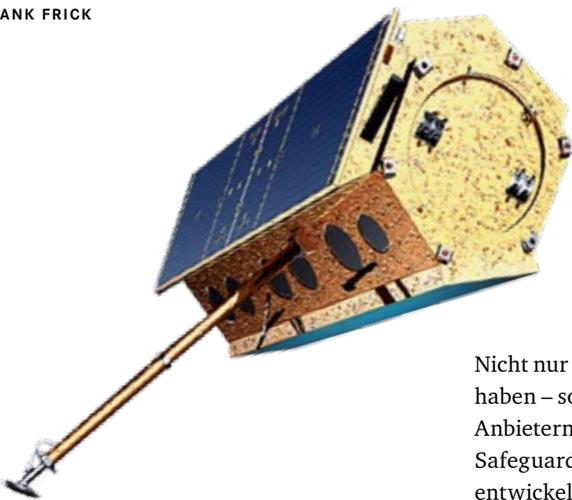
Wesentlich für verlässliche Resultate ist, dass die Netzwerk-Labore über Vergleichsmaterialien verfügen. Bei diesen ist bekannt, wie sie zusammengesetzt sind und wie sie hergestellt wurden. Solche Vergleichsmaterialien sind das Spezialgebiet von Martin Dürr: Er hat zusammen mit Kollegen und in Kooperation mit der IAEO ein Verfahren in Jülich etabliert, in dem Referenzpartikel aus Uran hergestellt werden können: Alle Teilchen einer Probe haben die gleiche Größe und enthalten die gleiche Menge Uran mit der gleichen Isotopen-Zusammensetzung. Diese Referenzpartikel benötigen die Nukleardetektive

↑ **Im Fokus der internationalen Atomenergie-Organisation (IAEO): der Schwerwasserreaktor IR40 bei Arak, Iran. Die IAEO befürchtet, dass dort waffenfähiges Plutonium hergestellt werden könnte.**

des Netzwerkes, um ihre Nachweismethoden zu testen und ihre Analysegeräte zu kalibrieren. Die Jülicher Partikel können außerdem dazu dienen, die Qualität eines Netzwerk-Labors zu überprüfen: Man vergleicht einfach dessen Analyseergebnis mit den Produktionsangaben aus Jülich.

„Made in Jülich“ ist auch der Urtyp eines weiteren Utensils, das Martin Dürr präsentiert, nachdem er die Wischtücher beiseitegelegt hat: ein Siegel. Es ist allerdings kein Papierstreifen, wie ihn die Ermittler in den Fernsehkrimis auf Wohnungstüren kleben, um die Vernichtung von Spuren am Tatort zu verhindern. Stattdessen handelt es sich um ein kleines elektronisches Gerät: „Dies ist ein Exemplar wie es schon in den 1970er Jahren in unseren Werkstätten entwickelt wurde – heute sind deren Nachfolger goldener Standard bei der IAEA“, sagt er. Inzwischen können die Inspektoren dank der Siegel per Fernauslese über das Internet jederzeit feststellen, ob ein Behälter geöffnet wurde – ein Indiz dafür, dass jemand heimlich auf das brisante Material darin zugreifen wollte. Auch das wäre ein Fall für die Spurensicherung, aber nicht mehr für die Nukleardetektive.

FRANK FRICK



↑ **Satellitenaufnahmen liefern wichtige Informationen über Nuklearanlagen. Dr. Irmgard Niemeyer entwickelt Computerprogramme zur automatischen Bildauswertung.**

Das Auge am Himmel

Nicht nur Inspektoren vor Ort können ein Auge auf die Aktivitäten in einer Nuklearanlage haben – sondern auch Satelliten. „Die IAEA nutzt Satellitenaufnahmen von kommerziellen Anbietern“, sagt Dr. Irmgard Niemeyer, Leiterin der Jülicher Arbeitsgruppe „International Safeguards“. Ihr Team unterstützt die IAEA auch dadurch, dass es Computerprogramme entwickelt, die Satellitenbilder automatisiert aufbereiten und analysieren.

„Anders als der Mensch schenkt der Computer allen Bildbereichen die gleiche Aufmerksamkeit. Und er bestimmt Größen von Anlagen und Abstände schneller, genauer und verlässlicher“, erläutert Niemeyers Mitarbeiter Dr. Clemens Listner. Satelliten liefern gegebenenfalls auch Bilddaten etwa zur Temperatur in einer Anlage und somit zu deren Betriebszustand – Daten, die der Rechner umwandeln kann, damit der Mensch sie erkennt.

Außerdem machen die Programme mit statistischen Verfahren sichtbar, wann und wie sich eine Anlage im Laufe der Zeit verändert – und zwar nicht nur, ob etwa der Frühling die Pflanzen in der Anlagen-Umgebung grünen lässt. „Auf Satellitenbildern einer Uran-Anreicherungsanlage im Iran ließ sich beispielsweise sehr genau verfolgen, wie Hallen für die notwendigen Zentrifugen zunächst gebaut und anschließend so abgedeckt wurden, dass sie aus der Luft nicht mehr direkt zu erkennen sind“, berichtet Niemeyer.

Angriff der Aschepartikel

Ab welcher Konzentration gefährden Vulkanasche oder Sand die Flugsicherheit? In Jülich ergründen Forscher diese Frage mit einem europaweit einzigartigen Teststand. Außerdem entwickeln sie Materialien, die den Angriffen durch solche Kleinstpartikel besser widerstehen können.



↑ **Dr. Daniel Emil Mack testet, wie Partikel aus Sand oder Asche Flugzeugturbinen schädigen und wie sich die Bauteile schützen lassen.**

Kilometerweit sprühten Dampf und Asche in den Himmel. Feuerrot leuchtende Lava schoss aus dem zwei Kilometer langen Spalt des Berges mit einem unaussprechlichen Namen. An den isländischen Vulkan Eyjafjallajökull, gesprochen: [ˈeɪjaˌfjatlaˌjœːkʏtʃ], erinnern sich sicherlich nicht nur die Piloten der diversen Fluglinien. Damals, im Frühjahr 2010, legte der Berg mehrere Tage den Flugverkehr über Nord- und Mitteleuropa lahm. Ursache war die riesige Aschewolke, die sich mehrere Hundert Kilometer weit nach Süden ausbreitete.

Die europäische Flugaufsicht wollte kein Risiko eingehen und stoppte daraufhin den Flugverkehr in diesem Gebiet. Später wurden Zweifel laut, ob dies nötig gewesen sei – immerhin kostete das Flugverbot die Wirtschaft pro Tag 150 Millionen Euro. Ob nötig oder unnötig, ist bis heute schwer

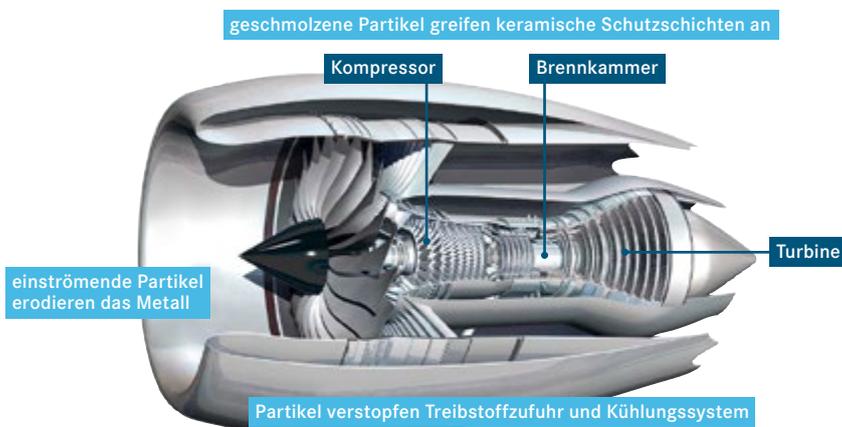
zu sagen. Denn es fehlen belastbare Daten, ab welcher Konzentration und Flugdauer Ascheteilchen die Triebwerke von Flugzeugen beschädigen.

Die Physiker Prof. Robert Vaßen und Dr. Daniel Emil Mack erforschen mit ihren Kollegen am Institut für Energie- und Klimaforschung (IEK-1), wie gefährlich sogenannte Silikate wie Sand oder Vulkanasche für die Flugsicherheit tatsächlich sind – und wie sich die Turbinen mit neuen Materialien besser schützen lassen. „Dass Silikate nicht gut für Flugzeugturbinen sind, war schon lange klar. Die meisten Experten hielten den Schaden aber für überschaubar“, erzählt Mack, „bis zum ersten Irak-Krieg Anfang der 1990er Jahre. Damals griff der Wüstensand die Triebwerke der Kampffjets deutlich stärker an als erwartet.“

Die Ursache fanden die Experten dann ausgerechnet im technologischen Fortschritt der Luftfahrt: Die Ingenieure hatte in den Jahren zuvor die Temperatur erhöht, mit der das Brenngas in die Turbinen von Kampfflugzeugen eintritt – auf über 1.250 Grad Celsius. Dadurch kann die Verbrennungsenergie des Gases effizienter in mechanische Energie umgesetzt werden – doch es schmelzen auch Silikate wie Sand, der beim Flug eingesaugt wird. Und dies leitet einen chemischen Angriff auf die Turbinen ein: „Deren metallische Bauteile sind mit einer keramischen Schicht gegen die Hitze geschützt. Wenn die Sandkörner schmelzen, infiltrieren sie diese Schichten wie Wasser einen Schwamm.“ Die Folge: Die keramischen Schichten werden angegriffen, so dass sie ihre Schutzwirkung nicht mehr erfüllen oder sich ganz ablösen. Ein Problem, mit dem heute auch die zivile Luftfahrt kämpft. Denn diese betreibt die Turbinen ihrer Maschinen inzwischen ebenfalls bei mehr als 1.250 Grad Celsius.

Am IEK-1 widmen sich die Wissenschaftler diesem Problem mit einem europaweit einzigartigen Teststand. „Damit bilden wir realistisch nach, wie schmelzende Silikate die Turbinen infiltrieren“, sagt Mack. „Dazu nehmen wir eine Probe mit einem Durchmesser von drei Zentimetern, die wie die Bauteile der Turbinen aus einer hochwarmfesten Metalllegierung besteht, die durch

Wie Asche und Sand ein Flugzeugtriebwerk schädigen können



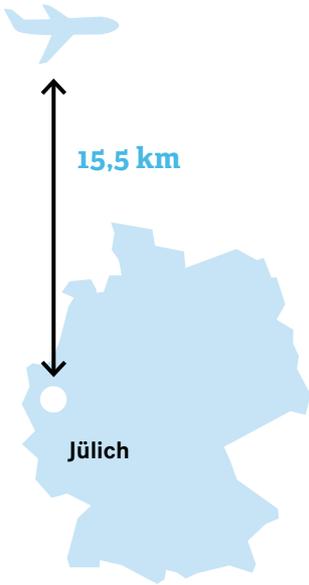
← **Satellitenaufnahme der Eruptionssäule des Eyjafjallajökull am 11. Mai 2010. Die sichtbare Aschewolke erstreckt sich von Island über 850 Kilometer nach Süden.**

keramische Lagen geschützt ist. Wir erhitzen die Keramikoberfläche auf über 1.250 Grad Celsius, während das Metall gekühlt wird. Dann injizieren wir unseren Modellsand, eine Mischung aus vorwiegend Kalzium, Magnesium, Aluminium und Silizium sowie Eisen, in die Flamme.“ Anders als in vergleichbaren Testständen werden so nicht nur die thermomechanischen, sondern auch die chemischen Angriffe auf das Material simuliert. So, als würde ein Flugzeug durch eine Aschewolke oder einen Wüstensturm steuern.

Auf diese Weise testen die Forscher verschiedene Materialien und Szenarien: Sie heizen die Proben auf und kühlen sie ab, um Start und Landung eines Flugzeuges zu simulieren. Und sie erhöhen kontinuierlich den Zustrom der Silikate, um herauszufinden, ab welcher Dosis diese die keramischen Schutzschichten beschädigen.

„Wir wissen nun mehr darüber, wie Silikate die Turbinen angreifen und wie die Materialien reagieren“, erzählt Mack. Die Forscher können so Vorhersagen liefern, um das Gefahrenpotenzial von Vulkanasche und Sand einzuschätzen. Das ist auch für die Industrie interessant. „Viele große europäische Unternehmen kommen zu uns, um die Belastbarkeit ihrer Schutzschichten zu testen, und bei Turbinen in Kraftwerken gewinnt die Problematik ebenfalls an Bedeutung.“

Mack und seine Kollegen am Institut von Prof. Olivier Guillon entwickeln auch neue keramische Materialien, die sie ausgiebig erproben – bis hin zum Angriff mit den schmelzenden Silikaten. „Wir konstruieren Opferschichten, die den Angriffen lange genug standhalten, um das Flugzeug auch im Notfall sicher nach Hause zu bringen. Widerstandsfähigere Schichten würden außerdem die Kosten für die Wartung reduzieren, da die Turbinen seltener repariert werden müssten“, schildert Mack die bisherigen Ergebnisse. So wird die Luftfahrt beim nächsten großen Vulkanausbruch vielleicht besser gegen die Aschewolken gerüstet sein: mit belastbaren Daten und belastbarem Material.



2,2 Quadratkilometer misst der Campus des Forschungszentrums. Jülicher Wissenschaftler sind aber weit über den Campus hinaus aktiv. Wo sie überall forschen, stellen wir Ihnen regelmäßig an dieser Stelle vor. Diesmal geht es weit nach oben – bis hinauf in 15,5 Kilometer Höhe.

Forschen im Flieger

Normale Exemplare bringen wohlhabende Menschen zum Verhandlungstisch oder zum Golfen. Umgebaut und mit dem Namen HALO versehen, liefert das Flugzeug Erkenntnisse über die Atmosphäre und das Klima. Mit an Bord sind oft Forscher und Instrumente aus Jülich.



Anders als die Passagiere der Business-Variante finden es Atmosphärenforscher bemerkenswert, dass ihnen während des acht- bis zehnstündigen Fluges Kaffee serviert wird. Denn das sind sie nicht gewöhnt. Sie führen ihre Messkampagnen ansonsten oft mit alten Propellermaschinen ohne jeden Komfort durch. Die Steward-Rolle im HALO übernimmt ein Mechaniker, der aus Sicherheitsgründen dabei sein muss, aber normalerweise den gemütlichsten Job an Bord hat.

Die vier bis acht mitfliegenden Forscher sind dagegen im Stress: Sie bedienen die zahlreichen Messgeräte, mit denen die Kabine vollgestopft ist. Zugleich tauschen sie sich mit Kollegen am

2,2
plus

Boden aus, die ebenfalls die Messungen sowie Wetterprognosen verfolgen und die zudem mit Computermodellen Luftströmungen oder Wolken vorhersagen. „So wird klar, ob die Flugrichtung kurzfristig geändert werden muss, um interessante Daten zu erhalten. Dass wir die Flugroute nach Rücksprache mit den Piloten jederzeit anpassen konnten, hat mich besonders beeindruckt“, sagt Dr. Christian Rolf. Der 31-jährige Jülicher Atmosphärenforscher war letztes Jahr bei zwei HALO-Flügen dabei – gemeinsam mit Jülicher Geräten wie FISH. Mit diesem „Fast In-situ Stratospheric Hygrometer“ bestimmten die Wissenschaftler in 8 bis 15 Kilometer Höhe den Eiswassergehalt in Zirruswolken über Europa.

Einen der begehrten Plätze im Flugzeug zu bekommen, ist schwer. Für die baugleichen Business-Jets reicht viel Geld. Wissenschaftler dagegen zahlen in anderer Währung: Wer sich etwa sehr gut mit einem Messgerät auskennt, das intensiv betreut werden muss, hat recht gute Chancen. Auch jede Messkampagne als Ganzes muss ihre Exzellenz nachweisen: Ein wissenschaftlicher Lenkungsausschuss entscheidet darüber, ob Methoden und Ziele einer vorgeschlagenen Mission es wert sind, abzuheben.

Die HALO Gulfstream G550

HALO

High Altitude and Long Range
Research Aircraft

FINANZIERT VON

- Bundesforschungsministerium
- Helmholtz-Gemeinschaft
- Max-Planck-Gesellschaft

MAX. FLUGHÖHE

15,5 km

REICHWEITE

über 8.000 km

LEERGEWICHT

22,23 t

LÄNGE

31 m

MAX. GESCHWINDIGKEIT

1.054 km/h



GEFÄLLT UNS

ONLINEKURSE

MOOC: Studieren von fast überall

Studieren aus dem Wohnzimmer, das wäre es doch. Oder warum nicht gleich ein Auslandsstudium, ohne wegzuziehen? Was vor einigen Jahren noch undenkbar schien, macht die Technik heute möglich. Als sogenannte Massive Open Online Courses, kurz MOOC, bieten internationale Universitäten Vorlesungen zunehmend auch online an. Ob Physik, Architektur oder Bioökonomie – auf entsprechenden Internetplattformen können sich Interessierte in Studienfächer einschreiben und als Gasthörer in ihr Wahlfach hineinschnuppern. Für Wissbegierige bieten weiterführende Kurse eine Ausbildung auf Hochschulniveau. Die Onlinekurse und eine Teilnahmebestätigung sind oft kostenlos. Wer jedoch eine Note haben möchte, muss für die Prüfungen zahlen.

- WWW.IVERSITY.ORG -

- WWW.COURSERA.ORG -

- WWW.EDX.ORG -

AUSSTELLUNG

Eine Stadt auf einem Schiff

Während in ähnlichen Frachträumen Sand und Kies lagern, verstecken sich im Bauch der MS Wissenschaft Straßen, Gebäude und ganze Parklandschaften. Sieben Monate lang hat das Organisationsteam von Wissenschaft im Dialog die Wanderausstellung „Zukunftsstadt“ geplant und das Innenleben des Frachtschiffs umgestaltet. Beteiligt sind 30 wissenschaftliche Einrichtungen, die unter Deck ihre Visionen eines modernen Lebens vorstellen: Es geht um Mobilität und Vernetzung, Energie und Klima, aber auch um Natur in der Stadt, um neue Wohnformen und soziale Entwicklungen. Das Museumsschiff MS Wissenschaft ist den ganzen Sommer auf Fahrt durch Deutschland und geht entlang der großen Wasserstraßen vor Anker.

- WWW.MS-WISSENSCHAFT.DE/TOUR -



SCIENCE SLAM

Ruhmreicher Sieg

Mit Kampfsport-Übungen und Selfie-Aufnahmen hatte Dong-Seon Chang bereits in den FameLab-Vorrunden das Publikum begeistert. Nun hat der Neurowissenschaftler vom Max-Planck-Institut für biologische Kybernetik im FameLab-Deutschlandfinale in Karlsruhe gleich doppelt zugeschlagen: Er gewann den Publikumspreis, und auch die Fachjury des Wettbewerbs für Wissenschaftskommunikation, in dem die Teilnehmer in drei Minuten ihr Fachgebiet vorstellen, setzte ihn auf den ersten Platz. Mit seinem Drei-Minuten-Vortrag über die Wahrnehmung von Menschen und deren Handlungen trat Chang beim internationalen FameLab-Finale im englischen Cheltenham an. Dort trafen sich die besten FameLabber aus 27 Ländern zum Schlagabtausch.

- WWW.FAMELAB-GERMANY.DE -

FORSCHUNG IN EINEM TWEET

Steigt der Airbus D-AIKO in die Luft, heben auch unsere Messgeräte ab. Über den Wolken sammeln sie Daten, um das Klima zu berechnen. #IAGOS



Dr. Andreas Petzold

beobachtet die Erdatmosphäre mithilfe der zivilen Luftfahrt. Im Rahmen des europäischen Klimaforschungsprojekts IAGOS hat er in sechs Linienflugzeugen jeweils 120-Kilo-Pakete mit Messinstrumenten eingebaut. Während der Flüge sammeln die Geräte klimarelevante Atmosphärendaten. Diese sind von großer Bedeutung für die Klimaforschung.

www.fz-juelich.de/iagos