

## Big Data

Wie Forscher aus mehr Daten  
mehr Wert generieren

### AUSGEPRÄGT

Der Lebensstil verändert  
die Gehirnstruktur

### AUSGETROCKNET

Folgen der Dürre für Böden,  
Wälder und Grundwasser

### AUSERLESEN

Wie Forscher besonders  
fleißige Bakterien finden



## Überflieger

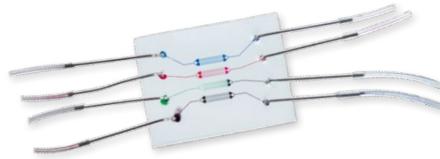
Vier Meter breit, fünf Kilogramm schwer – anmutig gleitet das braun-rosa Flugzeug über das Feld. An Bord zwei Spezialkameras: „Sie liefern uns Multispektralaufnahmen und Wärmebilder, die uns etwas über den Zustand der Pflanzen verraten, zum Beispiel über Wachstum, Biomasse oder Trockenstress“, sagt Dr. Bastian Siegmann vom Institut für Bio- und Geowissenschaften (IBG-2). 7 Meter pro Sekunde schafft die Spezialanfertigung der Bremer Firma Aeromedes. „Sie ist damit halb so schnell wie handelsübliche Starrflügler“, weiß Bastian Siegmann, „aber langsam fliegen verbessert die Bildqualität.“ Die Aufnahmen sollen künftig helfen, Ernteerträge zu schätzen.

**NACHRICHTEN****5****TITELTHEMA****Aus Daten wird Wissen**

In der Forschung wachsen die Datenberge. Was nötig ist, damit daraus neue Erkenntnisse wachsen und Big Data zu Smart Data wird.

**8****FORSCHUNG****In unendliche Weiten gelauscht**

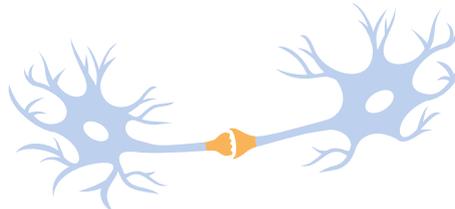
Das Radioteleskop LOFAR enthüllt unbekannte Galaxien.

**16****Einzelzimmer für Bakterien**

In winzigen Reaktoren spüren Forscher die effizientesten Bakterien für großtechnische Einsätze auf.

**18****1.000-Gehirne-Studie**

Wie sich das Gehirn im Alter ändert und welchen Einfluss der Lebensstil darauf hat.

**20****Drahtige Synapse**

Mit einem neuen elektronischen Bauteil kommen Forscher einem künstlichen neuronalen Netzwerk ein Stück näher.

**22****Werkstoff im Salzmantel**

Neues Verfahren hilft das Zukunftsmaterial MAX-Phasen günstiger herzustellen.

**24****Immer an der Wand lang**

Wie Spermien kurvige Kanäle meistern.

**27****Ausgetrocknet**

Die Dürre 2018 hat dem Ökosystem zugesetzt. Alexander Graf untersucht die Folgen.

**28****RUBRIKEN****Aus der Redaktion****4****Impressum****4****Woran forschen Sie gerade?****25****Besserwissen****26****Gefällt uns****31****Forschung in einem Tweet****32**

# Sammeln und sichten!

Neulich im Supermarkt: Sie kaufen parfümfreie Körperlotion, verzichten im Gegensatz zu sonst auf Zigaretten. Sagt der Kassierer: Herzlichen Glückwunsch, wann kommt das Baby denn? Big Data macht es möglich. Unser Kaufverhalten verrät mehr als uns manchmal lieb ist. Für diejenigen, die nicht zum gläsernen Kunden werden wollen, hat der Kabarettist Vince Ebert einen guten Tipp: die Guerilla-Taktik. Einfach hin und wieder Produkte einkaufen, die nicht zusammenpassen, zum Beispiel eine Flasche Weizenkorn, zwei Rollen Zahnseide und die Emma. Das dürfte selbst den geschicktesten Algorithmus verwirren.

Während Big Data im Alltag nicht immer willkommen ist, sehen Forschende\* im wissenschaftlichen Bereich die Chance auf neue Erkenntnisse. Richtig ausgewertet, könnte die Datenflut helfen, Klimaprognosen zu verbessern oder Krankheiten früh zu diagnostizieren. In unserer Titelgeschichte berichten wir über die Herausforderungen an die Wissenschaftler, um aus gesammelten Big Data durch Sichten, Sortieren, Teilen und Verknüpfen Smart Data zu machen.

Lesen Sie außerdem, wie sich der Lebensstil auf die Alterung des Gehirns auswirkt, welche Rätsel des Universums das Radioteleskop LOFAR enthüllt und wie „Einzelzimmer“ für Bakterien die großtechnische Herstellung von pharmazeutischen Wirkstoffen verbessern können.

Viel Vergnügen wünscht Ihnen  
Ihre effzett-Redaktion

Noch mehr drin!

Jetzt das Online-Magazin lesen



↑ Die effzett können Sie auf allen Endgeräten lesen – vom Smartphone bis zum PC. Einfach online aufrufen: [effzett.fz-juelich.de](http://effzett.fz-juelich.de)

## Impressum

**effzett** Magazin des Forschungszentrums Jülich, ISSN 1433-7371

**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, Janosch Deeg, Dr. Frank Frick, Christian Hohlfeld, Matthias Lauerer, Katja Lüers, Dr. Regine Panknin, Philippe Patra, Dr. Arndt Reuning, Hanno Schiffer, Tobias Schlößer, Dr. Barbara Schunk, Brigitte Stahl-Busse, Angela Wenzik, Erhard Zeiss.

**Grafik und Layout:** SeitenPlan GmbH, Corporate Publishing Dortmund

**Bildnachweise:** Forschungszentrum Jülich (23); Forschungszentrum Jülich/Dmitry Fedosov/Seitenplan (7 u.); Forschungszentrum Jülich/Sascha Kreklau (3 Mitte o. und re., 15 Mitte, 18-19, 21, 29); Forschungszentrum Jülich/Ralf-Uwe Limbach (2, 10, 13, 23 u., 25, 27 u.); Forschungszentrum Jülich/SeitenPlan (27 o.); DLR/CC-BY 3.0 (32); ESA/Hubble, NASA, ESO, M. Kornmesser (5 o.); Wolfgang Filser/TUM (7 o.); Heinrich-Böll-Gymnasium Troisdorf (31 li.); KIT/Markus Breig (15 u.); Diana Köhne (26 (Illus mit Text)); Christoph Kleinstück (Titel,

3 li. o., 8-15 (alle Illustrationen)); Miriam Menzel et al., Scientific Reports (2019), DOI:10.1038/s41598-019-38506-w (CC BY 4.0) (5 u.); SAP/Ingo Cordes (15 o.); SeitenPlan (3 Mitte, 22-23 (alle Illustrationen), 24 (alle Illustrationen)); SeitenPlan/ArtMari/Shutterstock (30); alle im Folgenden genannten Motive sind von Shutterstock.com: Canetti (6 u.); Feaspb (3 li. u., 16); Foxy burrow (4); Svetlana Lukienko (6 o.); Mona Makela (3 Mitte u.); Maksim M (31 li. (Handy)); Nadya\_Art (31 re. (einzelne Elemente über Handy)); spacezerocom (26 (Hintergrund)); Jasper Suijten (28)

**Kontakt:** Geschäftsbereich Unternehmenskommunikation, Tel.: 02461 61-4661, Fax: 02461 61-4666, E-Mail: [info@fz-juelich.de](mailto:info@fz-juelich.de)

**Druck:** Schloemer Gruppe GmbH

**Auflage:** 3.500

\* Alle in der effzett verwendeten Bezeichnungen sind geschlechtsneutral zu verstehen. Auf eine Nennung verschiedener Varianten der Bezeichnungen wird allein aus Gründen der besseren Lesbarkeit verzichtet.





ASTROPHYSIK

# Geburtshelfer für Planeten

Es war vor zwei Jahren das erste interstellare Objekt, das beim Kreuzen unseres Sonnensystems beobachtet wurde: der Himmelskörper Oumuamua (hier eine Illustration). Eine Studie zweier Astrophysikerinnen aus Jülich und Belfast zeigt, dass sich aus solchen Objekten womöglich besonders schnell Planeten in neuen Sternensystemen bilden. Die Planeten entstehen dann nicht nur – wie herkömmlich angenommen – aus mikrometergroßen Gas- und Feinstaubteilchen, sondern bekommen sozusagen Starthilfe durch die etwa Wolkenkratzer-großen Objekte.

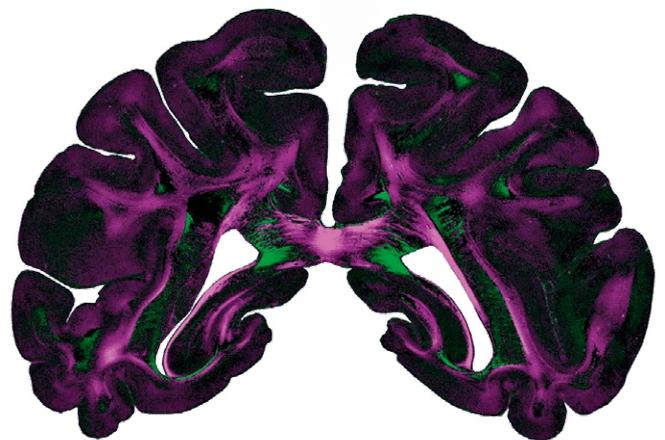
- JÜLICH SUPERCOMPUTING CENTRE -

HIRNFORSCHUNG

# Durchleuchtete Nerven

Von den Eigenschaften des Gehirngewebes können sich Wissenschaftler jetzt mit einem neuen Verfahren ein besseres Bild machen: Beispielsweise lassen sich Hirnregionen mit vielen dünnen Nervenfasern von solchen mit wenigen dicken Nervenfasern unterscheiden. Beim „Diattenuation Imaging“, entwickelt in Jülich, werden Gehirnschnitte mit polarisiertem Licht durchleuchtet. Mit der Schwingungsrichtung (Polarisation) des Lichts ändern sich die Lichtbrechung und die Lichtabschwächung abhängig von der Art des durchstrahlten Gehirngewebes – und das macht Unterschiede im Gewebe sichtbar.

- INSTITUT FÜR NEUROWISSENSCHAFTEN UND MEDIZIN -





## Sauerstoff-Schwamm

Es kann Sauerstoff immer wieder aufnehmen, speichern und abgeben, so ähnlich wie ein Schwamm es mit Wasser macht: das keramische Material Lanthan-Strontium-Manganat. Jülicher Forscher konnten detailliert aufklären, wie sich dabei Kristallstruktur, elektrische Leitfähigkeit und magnetisches Verhalten ändern. Über den Sauerstoffgehalt lassen sich gezielt die Eigenschaften des Materials einstellen. Daher ist es für Computerspeicher, Sensoren und Katalysatoren interessant.

- JÜLICH CENTRE FOR NEUTRON SCIENCE -



**„Fahrverbote und Nachrüstungen für Diesel-Pkw allein lösen nicht das Stickoxid-Problem in deutschen Städten. Viel heikler sind Lastwagen, Busse und Kleintransporter mit Dieselmotor.“**

Lesen Sie Fakten zur Diesel-Krise auf unserer Website:

[fz-juelich.de/dieselkrise](http://fz-juelich.de/dieselkrise)

ATMOSPÄRENFORSCHUNG

## Die Mischung macht's

Ihr Einfluss ist in Klimamodellen noch ein großer Unsicherheitsfaktor: kleinste Partikel in der Luft, sogenannte Aerosole (mehr über Aerosole siehe S. 26). Sie entstehen beispielsweise aus Terpenen – Molekülen, die von Pflanzen emittiert werden. Ein internationales Team unter Jülicher Leitung konnte nun zeigen, dass in Mischungen mit Spurengasen wie natürlichem Isopren, Methan oder anthropogenem Kohlenmonoxid die Aerosolbildung aus Terpenen gehemmt wird. In der Atmosphäre ist die Aerosolmenge daher geringer, als es Laboruntersuchungen erwarten lassen, bei denen diese Spurengase nicht anwesend sind.

Diese Erkenntnis hilft, Klimamodelle verlässlicher zu machen.

- INSTITUT FÜR ENERGIE- UND KLIMAFORSCHUNG -

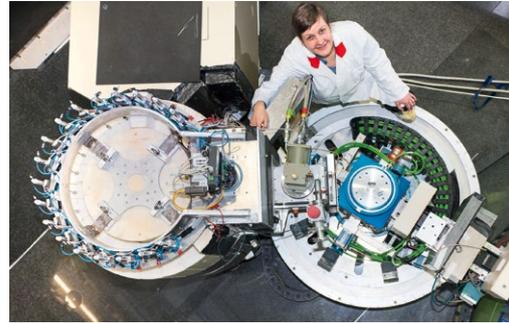
# 33

## Partner ...

aus 14 europäischen Ländern sind bei der Forschungsinitiative „Battery 2030+“ am Start, darunter das Helmholtz-Institut Münster, eine Außenstelle des Forschungszentrums Jülich. Die Initiative will in den nächsten zehn Jahren extrem leistungsfähige Batterien entwickeln – unter anderem mithilfe künstlicher Intelligenz – und damit die Wettbewerbsfähigkeit der europäischen Industrie in der Batterieforschung stärken.

Bessere Batterien für Autos und als Stromspeicher sind wesentlich, um die Klimaziele der EU zu erreichen.

- HELMHOLTZ-INSTITUT MÜNSTER -



PHYSIK

## Kein Ausnahmezustand

Atomkerne und Elektronen in Festkörpern beeinflussen sich gegenseitig in ihren Bewegungen. Diese Wechselwirkung ist aber bis auf wenige Ausnahmefälle dergestalt, dass sie in der Regel nicht berücksichtigt werden muss. Anscheinend gibt es jedoch mehr Ausnahmen als bislang angenommen, wie Wissenschaftler aus Jülich und München herausgefunden haben. Sie hatten bei einem Neutronen-Versuch am Garching „Heinz Maier-Leibnitz Zentrum“ Kopplungen zwischen den Bewegungen der Atomkerne und den Elektronen bei der Substanz CeAuAl<sub>3</sub> nachgewiesen. Die Forscher schließen daraus, dass es mehr Materialien geben muss, bei denen der Effekt eine Rolle spielt. Die Erkenntnisse könnten sich etwa für die Datenverarbeitung oder zum verlustfreien Stromtransport nutzen lassen.

- JÜLICH CENTRE FOR NEUTRON SCIENCE -

## Flexible Blutkörperchen nehmen anderen Weg

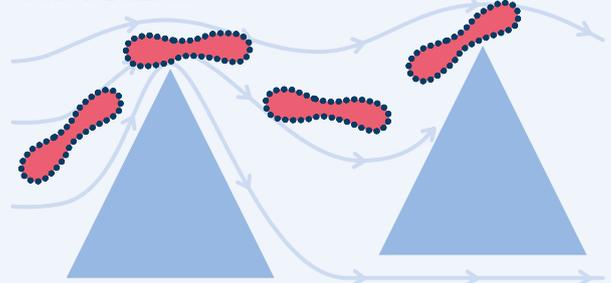
Rote Blutkörperchen sind normalerweise elastisch, ihre Außenhaut, die Membran, versteift allerdings bei Krankheiten wie Sichelzellenanämie, Malaria und Diabetes zunehmend.

Computersimulationen von Jülicher Wissenschaftlern zeigen, wie sich versteifte von elastischen Blutzellen trennen lassen: Die Zellen nehmen unterschiedliche Wege, wenn sie in kleinen Kanälen in einer Flüssigkeit an scharfkantigen, dreieckigen Hindernissen vorbeiströmen.

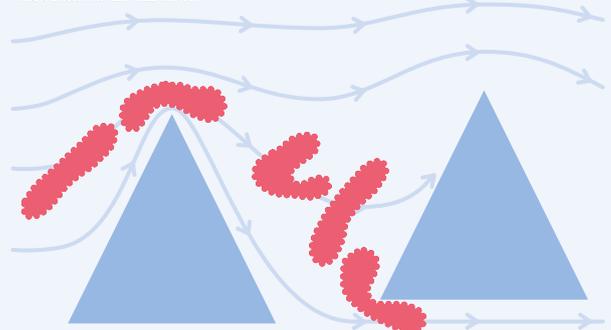
Dieses Ergebnis lässt sich womöglich nutzen, um ein etabliertes Verfahren abzuwandeln, bei dem mit stabförmigen Hindernissen rote und weiße Blutkörperchen aufgrund ihres Größenunterschiedes voneinander getrennt werden: Die bisherigen runden Stäbe könnten durch scharfkantige Hindernisse ausgetauscht werden.

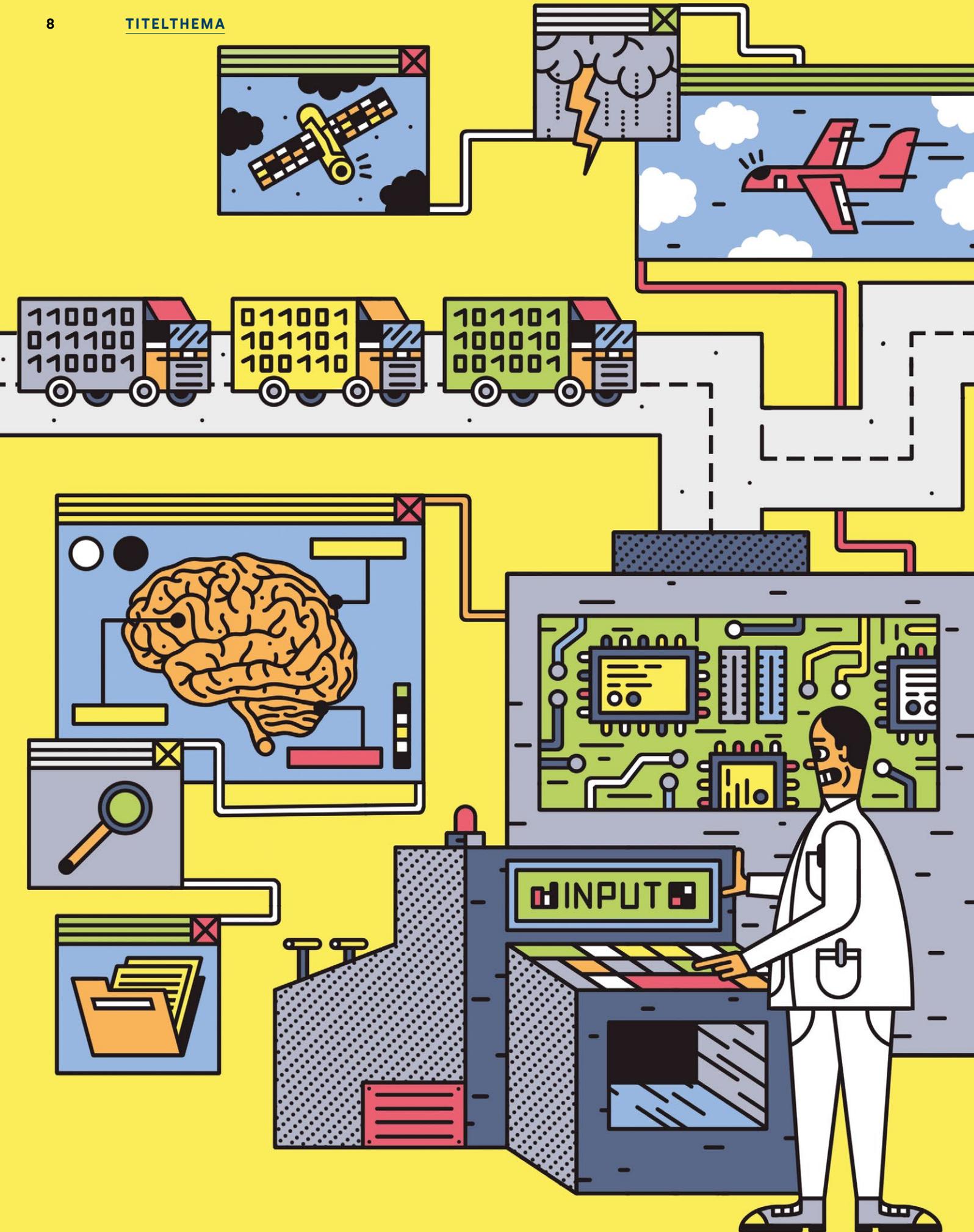
- INSTITUTE OF COMPLEX SYSTEMS UND INSTITUTE FOR ADVANCED SIMULATION -

versteifte Blutzellen



elastische Blutzellen





# Aus Daten wird Wissen

Die Sammelleidenschaft der Moderne hat einen Namen: Big Data. Die Industrie verspricht sich von großen Datenmengen neue Absatzmärkte, gezielte Kundenbindung oder klügere Wartungsintervalle. Wissenschaftler lockt die Aussicht auf neue Erkenntnisse und tiefe Einsichten.



**M**enschen sammeln gerne. Bei einigen gehören Sammeln und Verwalten sogar zum Beruf. Dazu zählen Wissenschaftler. Sie häufen nicht nur Wissen an, sondern produzieren und erfassen auch Unmengen von Daten und Informationen, aus denen Erkenntnis erst noch entstehen muss.

Die moderne Technik erleichtert das Erheben von Daten ungemein und verführt zum Horten. Experten schätzen, dass 90 Prozent der weltweit verfügbaren Daten erst in den vergangenen zwei Jahren zusammengetragen wurden. In der Wissenschaft erzeugen immer genauere Versuchsgeschichte, Messsysteme und Computersimulationen immer größere Berge an Daten. Am CERN, der Europäischen Organisation für Kernforschung, fallen bei Experimenten jährlich etwa 50 Petabyte Daten an, das Jülich Supercomputing Centre (JSC) kommt alleine bei Simulationen auf rund 20 Petabyte Daten pro Jahr. Bei solchen Datenmengen sprechen Experten von Big Data, von Daten, die sich mit manuellen und herkömmlichen Methoden nicht mehr auswerten lassen.

Big Data ist weit mehr als eine Sammelleidenschaft. Es bietet die Chance, aus den vielen Daten neue Zusammenhänge und Muster aufzudecken, die in kleinen Stichproben nicht auffallen würden. Doch „Big“ alleine bringt keine neuen Erkenntnisse. Ordnen, filtern, auswerten, aber auch Daten teilen und austauschen – das sind die großen Herausforderungen, um aus Big Data Smart Data zu machen, also Daten, aus denen sich sinnvolle Informationen gewinnen lassen. Diese Herausforderungen stellen neue Ansprüche an die IT-Infrastruktur, den Umgang mit Daten und die Zusammenarbeit in der Wissenschaft. Zwei Jülicher Beispiele zeigen, was Big Data im Forscheralltag bedeutet.

Alte Hasen im Big-Data-Geschäft sind Dr. Andreas Petzold und seine Kollegen vom Jülicher Institut für Energie- und Klimaforschung (IEK-8). „Im Projekt IAGOS reisen unsere Messgeräte seit über 20 Jahren mit kommerziellen Linienflugzeugen rund um die Welt. Dabei nehmen sie während des Flugs alle 4 Sekunden eine Messung vor: zum Beispiel, um Treibhausgase wie Kohlendioxid und Methan, weitere reaktive Spurengase



↑ Andreas Petzold koordiniert ein Projekt, um die Umweltdaten aus ganz Europa miteinander zu verknüpfen.

wie Ozon, Kohlenmonoxid und Stickoxide, aber auch Feinstaub sowie Eis und Wolkenteilchen zu erfassen. In der Zeit sind über 1,4 Milliarden Messpunkte auf 320 Millionen Flugkilometern zusammengekommen.“ Dass sich solche Datenmengen nicht mehr mit dem Taschenrechner auswerten lassen, versteht sich von selbst. Die Wissenschaftler mussten maßgeschneiderte Softwarepakete entwickeln: etwa für die Kalibrierung der Geräte, die Übertragung der Daten und deren Auswertung.

Die Klimadaten dienen dazu, langfristige Trends zu erkennen, zum Beispiel zur Luftverschmutzung oder zu Treibhausgasen. Solche globalen Daten und Erkenntnisse sind für Forscher weltweit von Interesse. Gerade beim Klima ist es wichtig, Daten aus verschiedenen Quellen zusammenzuführen – auch weil hier zahlreiche Faktoren ineinandergreifen: Böden, Pflanzen, Tiere, Mikroorganismen, Gewässer, Atmosphäre und alles, was der Mensch so treibt.

## DATEN VERGLEICHBAR MACHEN

Bislang werden solche Daten noch zu häufig getrennt voneinander erfasst und auch getrennt in Modelle gepackt. Das soll sich ändern: Auf europäischer Ebene starteten Anfang 2019 mehrere groß angelegte Infrastrukturprojekte, die nicht nur auf die langfristige und gut strukturierte Sicherung der einzelnen Datensätze zielen, sondern zusätzlich auf deren Vergleichbarkeit.

Wenn Forscher aus verschiedenen Disziplinen, Einrichtungen und Ländern ihre Datenberge zu noch größeren Datenbergen auftürmen, ist erst einmal eines gefragt: gemeinsame Standards.

## Big Data überall

In allen Jülicher Fachbereichen fallen heute große Datenmengen an. Darunter sind die klassischen datenintensiven Disziplinen wie die Kernphysik oder die Klimaforschung. Aber auch die Elektronenmikroskopie, die Strukturbiochemie und die automatisierte Bildauswertung in der Pflanzenforschung generieren Datenberge, die nicht mehr mit herkömmlichen Methoden auswertbar sind.

Die gibt es bisher noch zu selten. Solche Regeln sollen von den Erhebungsmethoden im Feld, über die Qualitätssicherung von Messungen bis hin zur Überprüfbarkeit der Daten reichen. Innerhalb von Projekten gibt es diese Standards bereits: „Im IAGOS-Projekt zum Beispiel versehen wir jeden Messpunkt mit einer ganzen Reihe von Metadaten. Das sind quasi die Schlagwörter zu jeder Messung: was, wann, wie und wo, Temperatur, Flugnummer und Messgerät. Dadurch können auch externe oder nachfolgende Forscher nachvollziehen, was wir wie und wo gemessen haben“, betont Petzold.

### EUROPAWEITE STANDARDS

Nun sind projektübergreifende Standards gefragt. Genau die will ENVRI-FAIR einführen, das europäische Infrastrukturprojekt für die Umweltwissenschaften. ENVRI steht für Environmental Research Infrastructures, denn alle etablierten europäischen Infrastrukturen der Erdsystemforschung sind an dem Vorhaben beteiligt – von lokalen Messstationen über mobile Geräte wie die von IAGOS bis hin zu satellitengestützten Systemen. FAIR beschreibt die Ansprüche, wie Forscher künftig die Unmengen an Daten erfassen und speichern sollen: auffindbar (findable), zugänglich (accessible), untereinander austauschbar (interoperable) und wiederverwertbar (reusable).

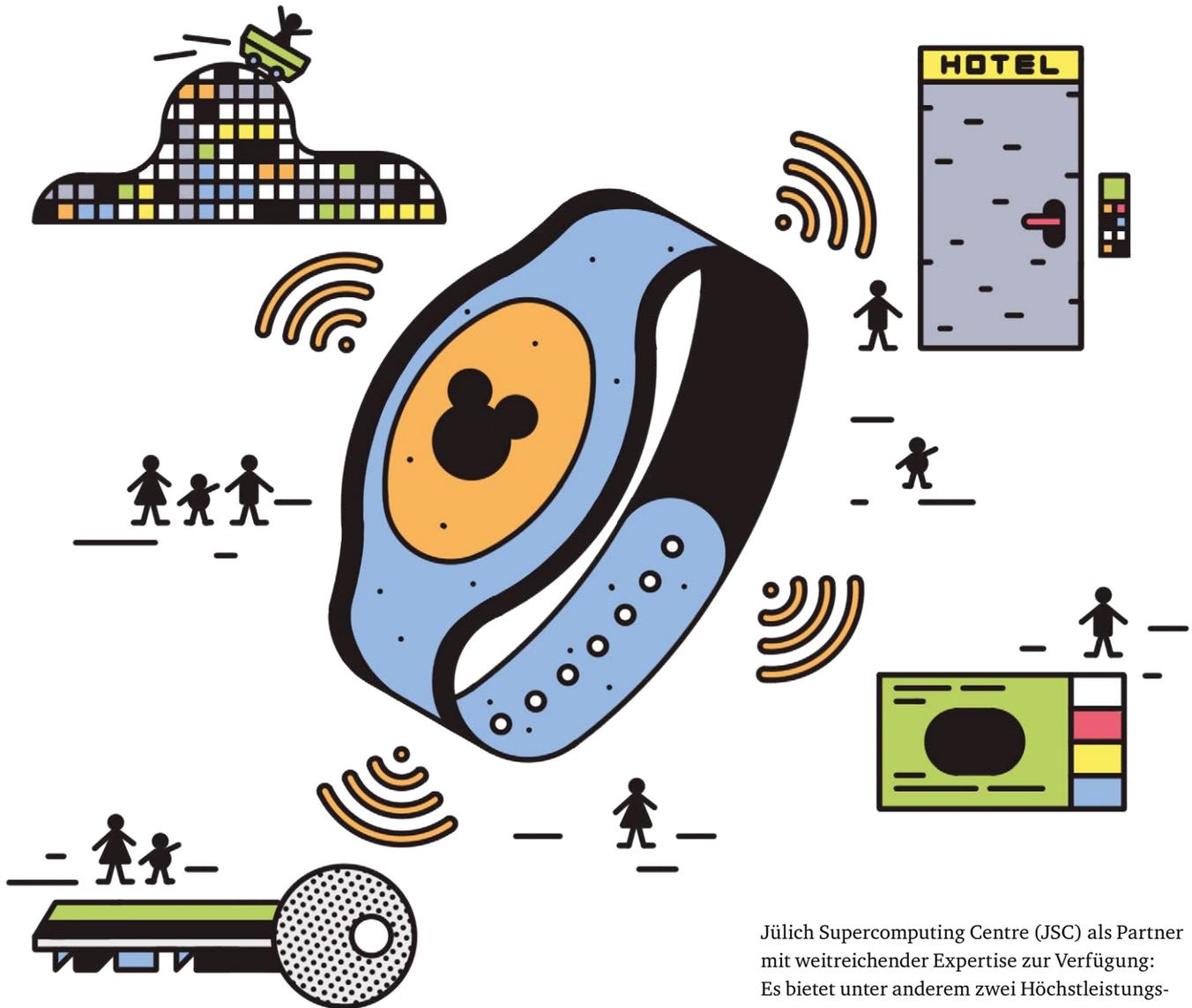
Petzold koordiniert dieses Mammutprojekt, das für vier Jahre mit 19 Millionen Euro von der EU gefördert wird. „ENVRI-FAIR wird es uns ermöglichen, unterschiedliche Daten miteinander zu verknüpfen und in Beziehung zueinander zu setzen – die Grundlage dafür, dass aus unseren Big Data auch Smart Data werden, die für die Forschung, für Innovationen und die Gesellschaft nutzbar sind“, betont er. Damit möglichst viele Forscher auf die Datenschätze zugreifen können, ist wie bei allen anderen europäischen Infrastrukturprojekten ein offener Zugriff über die European Open Science Cloud geplant, die gerade aufgebaut wird.

Um solche ambitionierten Pläne zu verwirklichen, benötigen die Fachwissenschaftler die Unterstützung von IT-Spezialisten – beispielsweise für den anstehenden Ausbau von IT-Infrastrukturen sowie Datenverwaltungs- und Computerczentren. Am Forschungszentrum Jülich steht das



### Was kauft die Welt?

Das digitale Couponsystem Payback hat nach eigenen Angaben weltweit 80 Millionen Nutzer, allein in Deutschland 30 Millionen. Genau wie Amazon, Facebook und Google sendet das Unternehmen den Kunden individualisierte Werbung. Das Einkaufsverhalten würde laut Payback viel über die Lebensumstände der Kunden verraten: Kauft etwa ein als Single eingestuft Mann plötzlich Blondierungsmittel, sei er mit hoher Wahrscheinlichkeit nicht mehr Single. Kunden, die gerne Tee, Kaffee oder Zigaretten einkaufen, würden besonders oft bei Angeboten von Whitening-Zahnpasta zugreifen. Payback berechnet auch, wie sich Nutzerprofile weiterentwickeln: Kauft jemand zum Beispiel Kleintierfutter für Hamster oder Meerschweinchen, dann stehe auch bald ein Prepaid-Handy auf der Liste. Wieso? Weil Kinder langsam erwachsen werden. Wer heute Windeln kauft, hat in sechs Jahren ein Schulkind zu Hause. Die Masse der Daten erlaubt es den Firmen, Korrelationen zu finden, die mit einer klassischen Kundenbefragung nicht möglich wären. Einiges ist aber auch simple Mathematik, wie das Beispiel vom Windel zum Schulkind.



## Wie amüsiert sich die Welt?

Der Disney-Konzern hat seine Freizeitparks mit Abertausenden von Sensoren ausgestattet. Besucher erhalten ein Armband, das MagicBand, welches mit RFID-Technik ausgestattet ist. Es dient als Eintrittskarte, Hotelschlüssel, Bezahlsystem und Identifizierung, um zum Beispiel nach Voranmeldung nicht in der Schlange stehen zu müssen. Gleichzeitig weiß die Parkleitung zu jedem Zeitpunkt, wo sich Menschenmassen stauen, und kann darauf reagieren. Das Band wird auch zu gezielter Werbung und persönlicher Ansprache genutzt.

Jülich Supercomputing Centre (JSC) als Partner mit weitreichender Expertise zur Verfügung: Es bietet unter anderem zwei Höchstleistungsrechner, passende Rechenverfahren, gewaltige Speicherkapazitäten von mehreren Hundert Petabyte und rund 200 Experten zu verschiedensten Themen. Das JSC unterstützt ENVRI-FAIR beispielsweise beim Aufbau eines automatisierten Managements der großen Datenströme. Eines der Hauptthemen ist dabei der Datenzugriff. Denn immer öfter geht es heute darum, bei internationalen Projekten mit vielen Kooperationspartnern sicherzustellen, dass große Datensätze – und die daraus gezogenen Schlüsse – von allen beteiligten Forschergruppen durchleuchtet und verifiziert werden können.

Dafür werden in Jülich neue Rechnerarchitekturen entwickelt, die Big Data besonders gut bewältigen und auswerten können, wie JUWELS und DEEP (s. Kasten rechts). Um den Austausch zwischen Spezialisten für Hochleistungsrechner und Fachwissenschaftlern zu verbessern, hat das JSC außerdem sogenannte Simulation Laboratories eingerichtet, in denen die verschiedenen Experten eng zusammenarbeiten. Sie unterstüt-



↑ Forscht an neuronalen Netzwerken, die aus Big Data lernen: Jenia Jitsev, Experte für maschinelles Lernen



↑ Timo Dickscheid entwickelt 3D-Gehirnmodelle und Verfahren zur Bildanalyse

zen Forscher beim allgemeinen Umgang mit Big Data und bei der Auswertung – auch mithilfe von maschinellem Lernen.

„Die Experten für Machine Learning und die Spezialisten für Hochleistungsrechner wissen, wie sich große Datenmengen mit den Supercomputern auswerten lassen. Fachwissenschaftler wie Biologen, Mediziner oder Werkstoffwissenschaftler können ihrerseits die sinnvollen Fragen an ihre spezifischen Daten stellen und die erzeugten Antworten bewerten lassen. Bei solcher Zusammenarbeit können so lernfähige Modelle – wie beispielsweise tiefe neuronale Netzwerke – mit den vorhandenen Daten trainiert werden, um Prozesse in der Atmosphäre, in biologischen Systemen, in Werkstoffen oder in einem Fusionsreaktor vorherzusagen“, erklärt Dr. Jenia Jitsev, Spezialist für Deep Learning und Maschinelles Lernen am JSC.

Einer der Jülicher Forscher, die eng mit dem JSC zusammenarbeiten, ist Dr. Timo Dickscheid, Leiter der Arbeitsgruppe Big Data Analytics vom Jülicher Institut für Neurowissenschaften und Medizin (INM-1). Auch in seinem Institut fallen enorm viele Daten an, denn es geht um das komplexeste Gebilde des Menschen: das Gehirn. „Wir entwickeln dafür ein dreidimensionales Modell, das sowohl strukturelle als auch funktionelle Organisationsprinzipien berücksichtigt“, so der Informatiker.

Er hat bereits an BigBrain mitgearbeitet, einem 3D-Modell, das aus Mikroskopaufnahmen von Gewebeschnitten des menschlichen Gehirns zusammengesetzt wurde. 7.404 hauchdünne

Schnitte hatten die Jülicher Hirnforscher dafür gemeinsam mit einem kanadischen Forscherteam in über 1.000 Arbeitsstunden präpariert und digitalisiert.

## DURCHS GEHIRN SURFEN

„Dieses 3D-Gehirnmodell ist rund ein Terabyte groß“, berichtet Dickscheid, „da ist es bereits eine Herausforderung, den Bilddatensatz flüssig auf dem Bildschirm darzustellen – ganz abgesehen von aufwendigen Bildanalyseverfahren, die diesen Datensatz auf den Jülicher Supercomputern automatisch analysieren und so Stück für Stück dreidimensionale Karten der unterschiedlichen Hirnareale hinzufügen.“ Eine manuelle, lückenlose Einzeichnung dieser Areale durch die Wissenschaftler ist bei diesen Datengrößen nicht mehr machbar. Drei Jahre lang haben er und seine Kollegen intensiv programmiert und sich mit dem JSC ausgetauscht.

Das Ergebnis: Trotz der großen Datenbasis ermöglicht das Programm es, geschmeidig durch das Gehirn zu surfen und bis auf die Ebene von Zellverbänden zu zoomen. Der Trick: „Wir stellen dem Anwender nicht den ganzen Datensatz in voller Auflösung zur Verfügung, sondern nur den kleinen Teil, den er gerade anschaut“, erklärt Dickscheid. „Und zwar in Echtzeit“, fügt er hinzu. Das BigBrain-Modell und die 3D-Karten sind ein Paradebeispiel für geteilte Big Data. Sie können mittlerweile von jedermann im Internet angeklickt, gedreht, gezoomt und bestaunt werden.

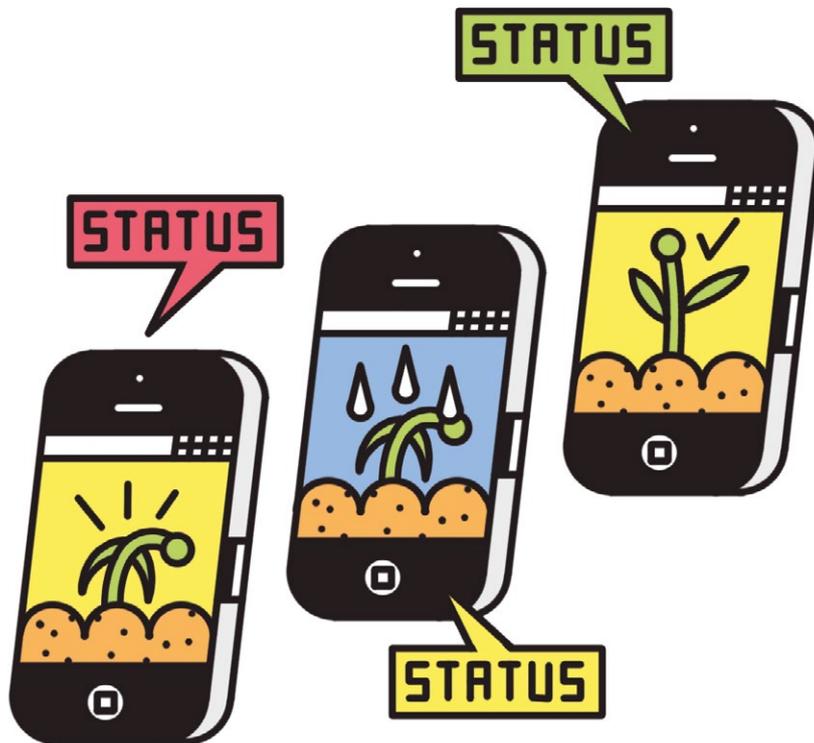
Wissenschaftler aus aller Welt nutzen das. Denn durch die dreidimensionale Darstellung können

## Maschinelles Lernen

Rund 100 Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler haben sich auf dem Jülicher Campus vernetzt, um neue Methoden des maschinellen Lernens und der künstlichen Intelligenz für ihre Forschung nutzbar zu machen. Eingebettet ist die Initiative in das zentrenübergreifende Projekt HAICU – Helmholtz Artificial Intelligence Cooperation Unit – im Rahmen des Helmholtz-Inkubators „Data Science and Information“.

## JUWELS und DEEP

JUWELS ist ein hochflexibler und modularer Supercomputer, dessen anpassungsfähiges Rechnerdesign in Jülich entwickelt wurde und auf ein erweitertes Aufgabenspektrum abzielt – von Big-Data-Anwendungen bis hin zu rechenaufwendigen Simulationen. Die Abkürzung steht für „Jülich Wizard for European Leadership Science“. Jülicher Forscher entwickeln zudem innerhalb der europäischen DEEP-Projekte neue modulare Supercomputer-Architekturen, die sich noch flexibler und effizienter als bisherige Systeme für wissenschaftliche Anwendungen nutzen lassen.



## Wer ernährt die Welt?

John Deere, weltweit bekannt für seine markanten Traktoren, krepelt mit Big Data die Landwirtschaft um: Sensoren zur optimalen Bewässerung und Düngung der Felder sind ebenso im Angebot wie eine Klima- und Wetterapp, welche den optimalen Zeitpunkt für Aussaat und Ernte berechnet. Darüber hinaus wertet die Firma die Daten all ihrer Maschinen und Sensoren weltweit aus, um daraus neue Produkte und Strategien zu entwickeln. Selbstverständlich können die Traktoren dieser Firma und auch anderer Hersteller heute schon ferngesteuert per Satellit über die Felder fahren – auch hier spielen die Digitalisierung und das Verarbeiten von vielen Daten aus unterschiedlichen Quellen eine wichtige Rolle: So können Drohnen mit Infrarotkameras vor Wildtieren warnen oder Sensoren steuern, wo auf dem Feld mehr oder weniger Dünger ausgebracht wird.



Mit BigBrain und anderen 3D-Modellen online durch das Gehirn steuern: [www.humanbrainproject.eu/en/explore-the-brain](http://www.humanbrainproject.eu/en/explore-the-brain)

sie räumliche Zusammenhänge in der komplizierten Architektur des menschlichen Gehirns weitaus besser beurteilen als bisher – und neue Erkenntnisse gewinnen. Niederländische Wissenschaftler etwa wollen mit dem Atlas die Sehrinde des Menschen auf zellulärer Ebene besser verstehen und mit diesem Wissen Neuroimplantate für Blinde verfeinern.

„Ergebnisse wie unsere verschiedenen Gehirnkarten allen zugänglich zu machen, ist ein Grundpfeiler der Wissenschaft“, sagt Professorin

Katrin Amunts, Direktorin am Institut für Neurowissenschaften und Medizin und Dickscheids Chefin. Die zugrunde liegenden Daten öffentlich zur Verfügung zu stellen, zwingt aber zu einem Paradigmenwechsel in der Forschung: „Veröffentlichungen von wissenschaftlichen Studien spielen im Moment noch eine sehr viel größere Rolle als Veröffentlichungen von Daten. Wir müssen uns in der Forschergemeinschaft darauf einigen, dass die Urheber der Daten gleichberechtigt neben den Autoren einer wissenschaftlichen Publikation genannt und zitiert werden. Auch hier sind FAIR Data ein ganz zentraler Punkt, Daten sollen findable, accessible, interoperable und reusable sein; ein Ansatz, den das Human Brain Project aktiv voranbringt“, betont Amunts. Denn Veröffentlichungen sind die Währung, mit der in der Forschung gehandelt und Karriere gemacht wird.

## TEILEN ALS CHANCE

Als leuchtendes Beispiel gelten die Astrophysiker. „Hier ist es historisch gewachsen, dass Daten unvoreingenommen geteilt werden“, weiß Dr. Ari Asmi von der Universität Helsinki, Kollege von Andreas Petzold und Mitkoordinator von ENVRI-FAIR. Das jüngste Beispiel ist das sensationelle Foto vom schwarzen Loch. „Das war nur möglich, weil die globale wissenschaftliche Gemeinschaft in der Radioastronomie erstens extrem eng vernetzt ist und zweitens ein Radioteleskop nur dann genutzt werden darf, wenn man seine damit erlangten Daten im Anschluss offenlegt.“

Aus Sicht von Asmi ist gerade das Teilen von Big Data eine große Chance für die Forschung: „Richtig spannend wird es, wenn wir es schaffen, anhand der neuen Methoden Daten aus verschiedenen Disziplinen miteinander zu verschränken, etwa unsere Umweltberechnungen mit Daten aus den Sozial-, Politik- und Wirtschaftswissenschaften. Gelingt das, werden wir tragfähige Modelle erhalten, um zum Beispiel den Klimawandel in seiner ganzen Bandbreite zu verstehen und Handlungskonzepte für die Zukunft erstellen zu können.“ Und dann wird Sammeln nicht nur Big, sondern wirklich Smart.

BRIGITTE STAHL-BUSSE

# Welchen Mehrwert bringt die Datenflut?

Wer übernimmt die Verantwortung für die Ergebnisse, die der Datenberg ausspuckt? Wir haben drei Experten gefragt, die Big Data aus ganz unterschiedlichen Blickwinkeln betrachten.



## Der Praktiker

**Franz Färber** ist Executive Vice President und verantwortlicher Chefarchitekt für Big-Data-Lösungen bei SAP, dem größten Softwarehersteller Europas: „Wenn in der Industrie oder in der Luftfahrt Geräte oder Flugzeuge aufgrund technischer Defekte ausfallen, ist das meist teurer als der frühzeitige Austausch eines Bauteils. Um die Wartungsintervalle so optimal wie möglich zu gestalten, sammeln Sensoren entsprechende Daten. Aber letztlich entscheidet ein Mensch, ob ein teures Maschinenteil ausgetauscht wird, noch bevor die Produktion stillsteht. Diese Entscheidung können Daten einem nicht abnehmen, aber sie bilden – wenn sie gut erhoben sind – eine solide Basis für wichtige Entscheidungen in einem Prozess.“

## Die Wissenschaftlerin

**Prof. Katrin Amunts** ist Direktorin des Jülicher Instituts für Neurowissenschaften und Medizin (INM-1) und wissenschaftliche Koordinatorin des EU-Flagships „The Human Brain Project“: „Bei Studien, die tausend oder sogar mehrere tausend Probanden einschließen, lassen sich völlig neue Erkenntnisse durch Big Data gewinnen. Hierbei kann man kleine und für sich nur schwach wirkende Faktoren und ihre Interaktion identifizieren. Ein Beispiel ist die Jülicher 1.000-Gehirne-Studie, die Effekte von Sport, Alkohol, Rauchen und sozialem Leben auf das Gehirn nachweist (mehr zu den Ergebnissen der Studie s. S. 20). Natürlich führen die größeren Datenmengen und ihre zunehmende digitale Bearbeitung durch selbstlernende Programme nicht automatisch zu mehr Wissen, jedoch werden die Erkenntnisprozesse durch Machine Learning und Deep Learning, die neue und leistungsfähige Rechnerarchitekturen nutzen können, stark vorangetrieben.“



## Der Philosoph

**Prof. Klaus Wieglering** vom Karlsruher Institut für Technologie hat mit Kolleginnen und Kollegen mehrerer Universitäten im Projekt „Assessing Big Data“ (ABIDA) die gesellschaftlichen Chancen und Risiken von Big Data ausgelotet: „Es ist eine Frage des Vertrauens. Der Glaube an die Unbestechlichkeit von Zahlen – und dass sie unsere Welt adäquat repräsentieren – ist ungebrochen, aber trügerisch. Wir Wissenschaftler müssen wachsam bleiben: Viele Daten und die vermeintlich darin versteckten Zusammenhänge führen keineswegs zwangsläufig zu einer Kausalität und zu wahren Erkenntnissen. Im privaten Bereich dient Big Data unter Umständen nicht nur den eigenen Zwecken, wie zum Beispiel der präzisen Stauvorhersage durch ein Navigationssystem. Kritiker befürchten den gläsernen Menschen. Andere könnten sogar meine digitalen Spuren für kommerzielle, politische oder kriminelle Absichten missbrauchen.“

# In unendliche Weiten gelauscht

51 Stationen, verteilt über Nordeuropa und verknüpft über Glasfasern, bilden die riesige virtuelle Empfangsantenne des Radioteleskops LOFAR. Mit ihm haben Astronomen seit 2010 Hunderttausende Galaxien entdeckt und zahllose wissenschaftliche Erkenntnisse gewonnen.



## So funktioniert LOFAR

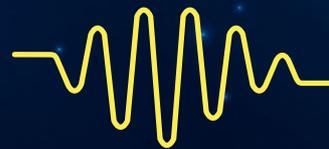
LOFAR, Vorreiter einer neuen Art von Radioteleskop, nutzt statt einer einzigen großen Empfangsschüssel viele Tausend miteinander vernetzte kleine Antennen. Sie sind in 51 sogenannte Stationen gruppiert: Felder mit Hunderten von einfachen, höchstens 1,7 Meter hohen Antennen. Die Stationen befinden sich in den Niederlanden, Deutschland, Frankreich, Schweden, Großbritannien, Polen und Irland. Die Station DE605 schließt sich südöstlich an das Forschungszentrum Jülich an.

Die Messsignale aller Stationen werden über schnelle Glasfaserverbindungen zu Supercomputern transportiert. Diese sortieren die Signale aller Einzelantennen und verbinden die Antennen so zu einer virtuellen Empfangsschüssel mit einem Durchmesser von 1.900 Kilometern. Mit ihr lassen sich auch schwache Signale unterscheiden, die sehr nahe beieinander auf die Erde treffen. Bei den Messungen fallen Unmengen von Daten an. Deren Verarbeitung würde auf herkömmlichen Rechnern Jahrhunderte brauchen, dank Supercomputern sowie innovativen Algorithmen gelingt es in einem Jahr.

LOFAR wird von der niederländischen Forschungseinrichtung ASTRON koordiniert.

# 14,8

Petabyte LOFAR-Daten beherbergt das Forschungszentrum Jülich. Das ist rund ein Drittel aller LOFAR-Daten und entspricht etwa 15 Milliarden Handy-Fotos



## Das Weltall abhören

Im All gibt es neben dem sichtbaren Licht der Sterne auch andere Formen der elektromagnetischen Strahlung, darunter Radiowellen. Radiosignale durchdringen im Gegensatz zu Licht auch Staub- und Nebelwolken zwischen den Sternen. Radioteleskope auf der Erde können diese Signale empfangen, die wertvolle Informationen über nicht sichtbare Gebiete im Weltall liefern. Je größer die Auffangfläche ist, umso besser kann das Teleskop die Details der Signale auflösen. Das Radioteleskop LOFAR (kurz für „Low Frequency Array“) misst Radiowellen in einem Wellenlängenbereich, der zuvor weitgehend unerforscht war: von 1 bis 10 Metern.



## Eine neue Himmelskarte

Ein internationales Wissenschaftler-Team hat die Radiosignale, die LOFAR empfangen hat, in sichtbare Bilder umgewandelt. Das kostete enorm viel Teleskop- und Rechenzeit. Mithilfe von Supercomputern – unter anderem in Jülich – erzeugten die Forscher daraus eine neue, öffentlich zugängliche Himmelskarte mit vielen bisher unbekanntenen Galaxien, die oft Milliarden von Lichtjahren entfernt sind. Mit ihr können Astronomen die Entwicklung von Galaxien in bisher unerreichter Detailgenauigkeit untersuchen. Und das ist erst der Beginn: Die aktuelle Karte deckt lediglich zwei Prozent des Himmelbereichs ab, der mit LOFAR erfasst werden soll.



## Schwarze Löcher

Die LOFAR-Daten zeigen, dass in den allermeisten Galaxien im Zentrum ein massereiches Schwarzes Loch existiert. Es verrät sich durch Materiestrahlen – sogenannte Jets –, erzeugt von Magnetfeldern rund ums Schwarze Loch. „Wir können mit LOFAR die Zahl der supermassiven Schwarzen Löcher im All zählen und ihre kosmische Entwicklung verfolgen“, erläutert Prof. Ralf-Jürgen Dettmar von der Ruhr-Universität Bochum, einer der beteiligten Astronomen. Die Wissenschaftler hoffen daher, künftig auch klären zu können, woher die Schwarzen Löcher kommen und welchen Einfluss sie auf die Galaxien haben, in denen sie sitzen. Die Forscher konnten anhand der LOFAR-Daten bereits zeigen, dass Schwarze Löcher ständig wachsen.



Bilder des Weltalls, die auf Basis der LOFAR-Daten entstanden sind, finden Sie im Web-Magazin: [effzett.fz-juelich.de](http://effzett.fz-juelich.de)

## „Die LOFAR-Daten sind eine der größten astronomischen Datensammlungen der Welt.“

PROF. THOMAS LIPPERT,  
DIREKTOR DES JÜLICH SUPERCOMPUTING CENTRE,  
EINES VON DREI LOFAR-DATENZENTREN



## Kosmische Magnetfelder

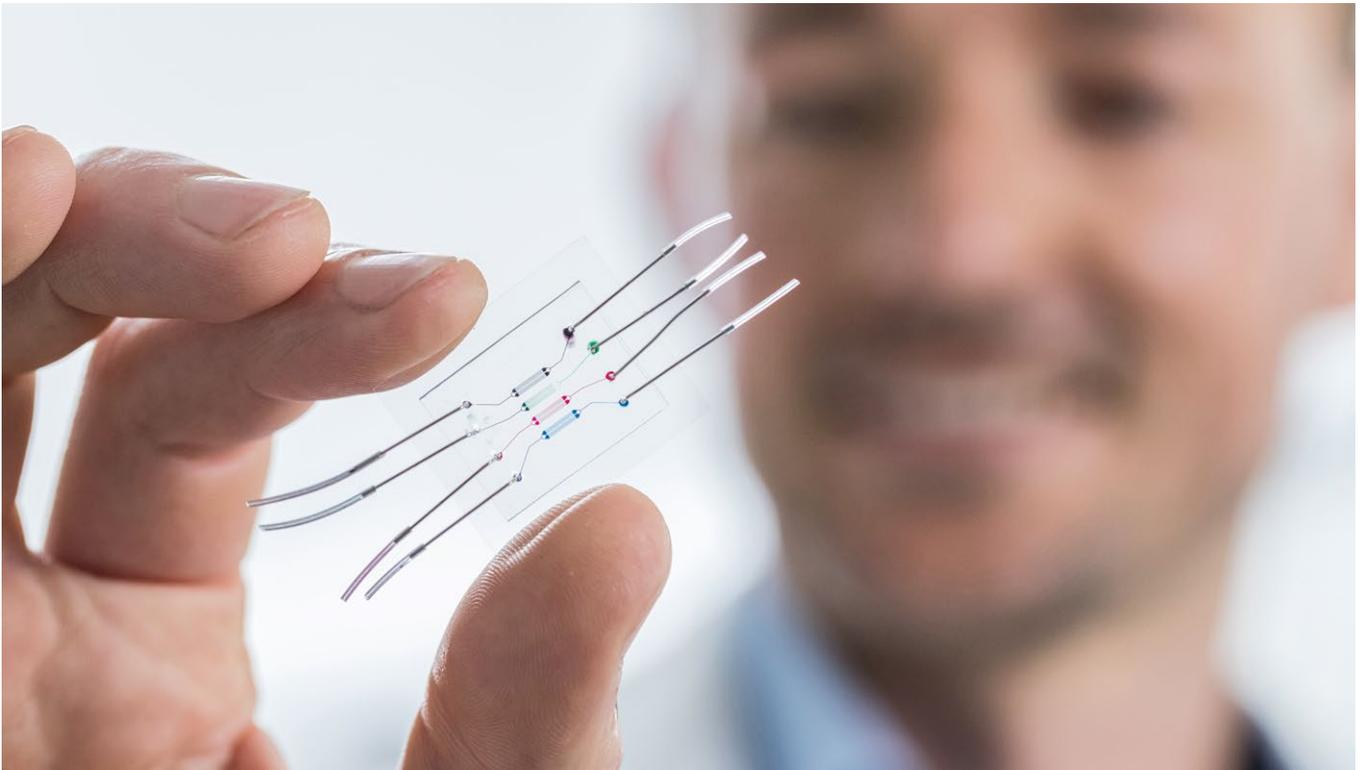
Astronomen aus Deutschland haben mithilfe von LOFAR festgestellt, dass Magnetfelder nicht nur in, sondern auch zwischen Galaxien existieren. Das war zuvor zwar vermutet worden, konnte aber bislang nicht nachgewiesen werden. LOFAR lieferte sogar Hinweise darauf, dass der gesamte Raum zwischen den Galaxien magnetisch sein könnte.



## Weitere Phänomene

Mit LOFAR lassen sich zudem Pulsare, Galaxienhaufen und die Sonnenaktivität untersuchen. Das Teleskop empfängt aber auch Radiosignale irdischen Ursprungs: Mit seiner Hilfe haben Forscher beispielsweise neue Prozesse beim Ausbilden von Blitzen entdeckt.

TEXTE: FRANK FRICK



# Einzelzimmer für Bakterien

Sie sind wichtige Helfer bei der Herstellung von Treibstoff und Medikamenten: die Bakterien. Doch bei ihrer Züchtung in Bioreaktoren sind manche Zellen fleißiger als andere. Mikrofluidikchips mit winzigen Kanälen und Kammern können dabei helfen, solche Unterschiede sichtbar zu machen.



Im Web-Magazin: Müssen Mikrobiologen ihre Lehrbücher umschreiben? Ein Besuch bei Dietrich Kohlheyer. Und: Videos und Fotos zeigen, wie Bakterien in den Mini-kammern des Mikrofluidikchips wachsen. [effzett.fz-juelich.de](http://effzett.fz-juelich.de)

Ob beim Bierbrauen, bei der Herstellung von Käse oder beim Fermentieren von Kohl: Menschen machen sich seit Jahrtausenden die Arbeit winziger Mikroorganismen zunutze. Heute sogar in großen Fabriken: Bakterien, Hefen und andere Pilze leisten in der industriellen Biotechnologie wichtige Dienste. Die kleinen Helfer produzieren Vitamine, Eiweißbausteine, Treibstoffe, Waschmittel und pharmazeutische Wirkstoffe, wie etwa Insulin oder Antibiotika.

„Die Mikroorganismen werden dafür in Bioreaktoren gezüchtet“, erklärt Prof. Dietrich Kohlheyer

vom Institut für Biotechnologie (IBG-1). „Das sind gewaltige Gefäße, die etliche Kubikmeter Nährlösung fassen.“ Allerdings: Nicht immer gelingt es den Fachleuten, ein neues Verfahren aus dem Labor in den industriellen Maßstab zu übertragen. Denn die Fähigkeiten der Mikroorganismen werden zunächst im kleinen Maßstab im Labor getestet und optimiert. Im großen Bioreaktor verhalten sich die Pilze und Bakterien manchmal aber ganz anders als im kleinen Volumen des Erlenmeyerkolbens. Dann kann es vorkommen, dass die Ausbeute der Zielsubstanz hinter den Erwartungen zurückbleibt.

← Der Bakterientester: Mit dem von Dietrich Kohlheyer entwickelten Mikrofluidikchip lassen sich Wachstum und Produktivität einzelner Zellen überprüfen.

Dietrich Kohlheyer will die Ursachen dafür herausfinden, um biotechnologische Prozesse zu verbessern und damit die Ausbeute zu steigern. Immer mehr setzte sich die Erkenntnis durch, sagt er, dass sich Mikroorganismen nicht unbedingt so gleichförmig verhalten, wie Lehrbücher es beschreiben. Beispielsweise betrachtet seine Arbeitsgruppe Bakterien, die genetisch vollkommen identisch sind. „Man sollte annehmen, dass sie dann auch ähnlich gut arbeiten. Das ist aber nicht der Fall: Es gibt unter ihnen hervorragende und eher schlechte Produzenten“, so Kohlheyer. „Wachsen die schlechten Produzenten zudem besser, sinkt die Effizienz im Bioreaktor.“

Hinzu kommt: In einem großen Reaktionsgefäß treffen die Winzlinge nicht überall auf dieselben Bedingungen. Auch wenn die Flüssigkeit im Inneren ständig gut durchmischt wird, können Zonen entstehen, die sich voneinander unterscheiden – sei es im Nährstoffgehalt, im pH-Wert oder in der Verfügbarkeit von Sauerstoff. Manche der Mikroorganismen reagieren auf diese lokalen Schwankungen, indem sie ihren Stoffwechsel herunterfahren und damit weniger von der gewünschten Substanz produzieren.

„Wir möchten möglichst exakt beobachten, wie sich die Zellen unter den verschiedenen Bedingungen verhalten: Wann gedeihen sie besonders gut? Was passiert, wenn man sie unter Stress setzt?“, erläutert Dietrich Kohlheyer. Dazu hat der Mechatronik-Ingenieur besondere Bauteile entwickelt, mit denen er einzelne Zellen ganz genau unter die Lupe nehmen kann, sogenannte Mikrofluidikchips. Sie sind etwa so groß wie ein Daumennagel und bestehen aus einem transparenten Stück Silikongummi. Durch ihr Inneres ziehen sich vier hauchfeine Kanäle. Links und rechts von jedem Kanal öffnen sich unzählige kleine Kammern, die gerade mal so hoch sind, dass die Mikroorganismen hineinpassen. Die sind typischerweise nur wenige Mikrometer groß, also rund zwanzigmal kleiner als der Durchmesser eines menschlichen Haars.

Durch die Kanäle können die zu untersuchenden Mikroorganismen in die Chips gespült werden. Im Idealfall gelangt nur eine einzelne Zelle in eine Kammer. Dort wird sie aber nicht lange allein bleiben. Denn Bakterien neigen dazu, sich zu teilen. Schon bald entsteht eine kleine Kolonie von Zellen.

Ein Mikroskop rastert in regelmäßigen Zeitintervallen die Kammern ab und nimmt Bilder der Kolonien auf. Daraus lässt sich ein Film des Bakterienwachstums im Zeitraffer zusammensetzen.

Bei Bodenbakterien der Gattung *Streptomyces* konnte das Team aus Jülich zeigen, dass sich die Zellen reproduzierbar und stabil vermehren, wenn sich das Nährstoffangebot in den winzigen Kammern des Chips nicht allzu stark ändert. Diese Mikroorganismen sind wichtige Quellen und Produzenten von Antibiotika und Proteinen. Aber weil die fadenförmigen Zellen zu komplexen Geflechten heranwachsen, gelten sie unter Biotechnologen als schwer zu kultivieren. Kohlheyer: „Unsere Beobachtungen zeigen, dass es für diese industriell bedeutende Bakterienart besonders wichtig ist, die Bedingungen in einem Bioreaktor gut einzustellen um die komplexe Form der Zellgeflechte zu kontrollieren.“

## GESUCHT: FLEISSIG UND ROBUST

Aber nicht nur das Wachstum von Bakterien können die Wissenschaftler mithilfe der Chips verfolgen, sondern auch den Stoffwechsel. Mikroorganismen der Gattung *Corynebacterium* stellen in Bioreaktoren Glutaminsäure und andere Eiweißbausteine her. Um die guten Produzenten zu erkennen, haben die Forscher deren Erbmateriale so verändert, dass die Bakterien einen fluoreszierenden Farbstoff produzieren, wenn sie bestimmte Stoffwechselforgänge aktivieren. Unter UV-Licht lässt sich so leicht erkennen, welche Bakterien in der Kolonie gut arbeiten – und welche nicht. Und wie sich das Muster verändert, wenn sich zum Beispiel die Zufuhr an Nährstoffen ändert. Dietrich Kohlheyer: „Unser Ziel ist es, besonders robuste Stämme zu identifizieren, die auch unter schwankenden Bedingungen eine maximale Ausbeute liefern.“

Unternehmen haben sich zwar anfangs skeptisch gezeigt, ob sich die Beobachtungen von den kleinen Zellverbänden in den Mikrofluidikchips auch auf die großen Reaktoren in der Industrie übertragen lassen – denn das Volumen eines Reaktors ist rund eine Billion mal größer. Doch mittlerweile sei das Interesse der Biotechnologen in den Firmen geweckt: „Wir konnten sehr schnell Ergebnisse vorlegen, die zeigen, wie stabil eine bestimmte Bakterienart unter verschiedenen Bedingungen wächst. Wohlgermerkt handelt es sich dabei noch um Grundlagenforschung. Im nächsten Schritt wollen wir unsere Erkenntnisse in der Industrie anwenden, um Bakterienstämme und Prozesse zu verbessern,“ sagt Kohlheyer.

## Filigrane Architektur

Die Mikrofluidik-Chips stellt das Team am Institut für Biotechnologie selbst her. Die Pläne für die komplexe Architektur entstehen am Computer. Auf dieser Datenbasis wird dann eine Form aus Silizium angefertigt, ein dreidimensionales Negativ der mikroskopisch kleinen Kanäle und Kammern. „Das geschieht hier in Jülich in einem Reinraum, der Helmholtz Nanoelectronic Facility. Wir nutzen dafür Techniken, wie sie auch in der Halbleitertechnologie zum Einsatz kommen, um Siliziumchips für Computer herzustellen“, sagt Prof. Dietrich Kohlheyer. Diese Formen werden anschließend mit einer zähflüssigen Silikonmasse gefüllt, die dann durch Erwärmen zu einem gummiartigen Material vernetzt wird. Eine dünne Glasscheibe deckt das System der Kanäle und Kammern ab.



↑ Der Mechatronik-Ingenieur Dietrich Kohlheyer leitet die Helmholtz-Nachwuchsgruppe „Microscale Bioengineering“.



1.300 Probanden, die meisten im Alter zwischen 55 und 85 Jahren, wurden im Jülicher Institut für Neurowissenschaften und Medizin seit September 2011 per Magnetresonanztomografie untersucht. Knapp 500 von ihnen nahmen nach vier Jahren nochmals an den Untersuchungen teil.



Daten zur Gesundheit und zur Lebenssituation der Probanden, unter anderem aus der Essener Heinz Nixdorf Recall Studie zur Herz- und Kreislaufgesundheit, ergänzen die Gehirnschans.

1

## Alter

Verschiedene Hirnregionen altern unterschiedlich. Die rechte Gehirnhälfte, in der unter anderem das räumliche Denken verankert ist, wird im Alter offenbar stärker abgebaut als die linke Hemisphäre, in welcher zum Beispiel die Sprache zu Hause ist. Das könnte erklären, wieso bei älteren Menschen die Orientierung im Raum und das visuelle Arbeitsgedächtnis nachlassen, die sprachliche Kompetenz jedoch zeitlebens relativ konstant bleibt. Einen im Vergleich geringen Abbau erfahren die vorderen Gehirnregionen, in denen unter anderem die bewusste Kontrolle verortet ist. Zudem nutzen ältere Menschen mehr Gehirnnareale als junge Menschen, um die gleiche Aufgabe zu lösen. Dies ist die sogenannte kognitive Reserve. Sie ermöglicht eine gewisse Kompensation von Alterungsprozessen.

2

## Lebensstil

Klare Spuren im Gehirn hinterlassen Faktoren wie soziale Kontakte, Alkoholkonsum und Rauchen sowie körperliche Aktivität. Menschen, die in einem regen sozialen Umfeld leben, und auch sportlich Aktive zeigen im Alter einen geringeren Volumenverlust des Gehirns. Dies ist ein Indiz für einen geringeren Verlust von Nervenzellen. Ein hoher Alkoholkonsum geht hingegen mit einem stärkeren Verlust des Gehirnvolumens einher, als es alterstypisch wäre, und deutet auf den Untergang von Nervenzellen hin. Letzteres gilt als mitverantwortlich für eine geringere geistige Leistungsfähigkeit und Flexibilität im Alter. Rauchen beeinflusst hingegen weniger die Gehirnstruktur, sondern eher die Gehirnfunktion. Die gezielte Zusammenarbeit von Hirnregionen im ruhenden Gehirn ist bei Rauchern höher als bei Nichtrauchern. Das Gehirn ist also stets stärker ausgelastet. Dadurch ist die kognitive Reserve geringer als bei Nichtrauchern. Fallen etwa durch das Altern bestimmte Hirnregionen aus, haben Raucher weniger Kapazitäten frei, um für diese Bereiche andere Regionen zu aktivieren.

3

## Vitamine

Um die Gedächtnisleistung zu erhalten oder wieder zu steigern, werden älteren Menschen oft B-Vitamine verschrieben. Diese Vitamine sollen die Kommunikation zwischen Nervenzellen verbessern. Offenbar sind die Wirkung und die Verarbeitungswege von B1- und B6-Vitaminen im Körper aber anders als bisher bekannt. Das Ergebnis der Jülicher Forscherinnen und Forscher zeigt: Bei Vitamin B6 scheint es immer positive Effekte zu geben, egal wie hoch die Werte im Blut sind. Hier gilt wohl: „Viel hilft viel“. Bei Vitamin B1 war den Forschern jedoch aufgefallen, dass trotz hohem Vitamin-B1-Spiegel im Blut ein Abbau der Gehirnschubstanz stattgefunden hatte. Vermutlich kommt das Vitamin B1 bei älteren Personen nicht mehr ausreichend im Gehirn an, wie Vorstudien zeigen. Die Ursachen dafür müssen zukünftig weiter erforscht werden.

4

## Mehrsprachigkeit

Wer eine zusätzliche Sprache intensiv erlernt, legt an Gehirnvolumen zu – insbesondere zu Beginn des Lernprozesses und in zwei bestimmten Bereichen. Die Veränderungen zeigen sich einerseits im hinteren unteren Teil des Stirnlappens, wo unser motorisches Sprachzentrum zu Hause ist. Darüber hinaus verändert sich auch der untere Scheitellappen. Dieser ist ebenfalls an Sprache beteiligt, er fügt zudem verschiedene Informationen zu einem Gesamteindruck zusammen. Jülicher Forscher konnten nun zeigen, wie die Areale bei Mehrsprachlern altern: Einerseits nimmt das Volumen des motorischen Sprachzentrums auch bei Menschen, die mehrere Sprachen sprechen, im Alter ab. Aber andererseits gleicht sich die Region erst in einem sehr hohen Alter an das Volumen von Menschen an, die nur eine Sprache beherrschen. Der zweite Sektor bleibt sogar noch länger stabil. Dies könnte erklären, wieso Mehrsprachler im Alter oftmals länger geistig fit bleiben.

# 1.000 Gehirne

Wie ändert sich die Struktur des Gehirns im Alter? Welche Rolle spielen Faktoren wie etwa Sport, Alkohol und Rauchen, und was unterscheidet normales Altern von krankhaften Veränderungen? Diese und zahlreiche weitere Fragen untersuchen Forscher in der „1.000-Gehirne-Studie“. Wissenschaftler aus Jülich, Düsseldorf, Essen und Basel haben erste Ergebnisse vorgestellt.

## 90 Terabyte Daten

Rund 90 Terabyte an Daten – das entspricht etwa dem Volumen von 90 Festplatten eines handelsüblichen Heimcomputers – umfasst der Datensatz der 1.000-Gehirne-Studie. Dabei reichen die enthaltenen Informationen von genetischen Daten über Blutwerte und Bilder des Gehirns bis zu Aussagen über die Lebenssituation. Die Experten schätzen, dass es rund zehn Jahre dauern wird, den einzigartigen Datenschatz umfassend zu analysieren.

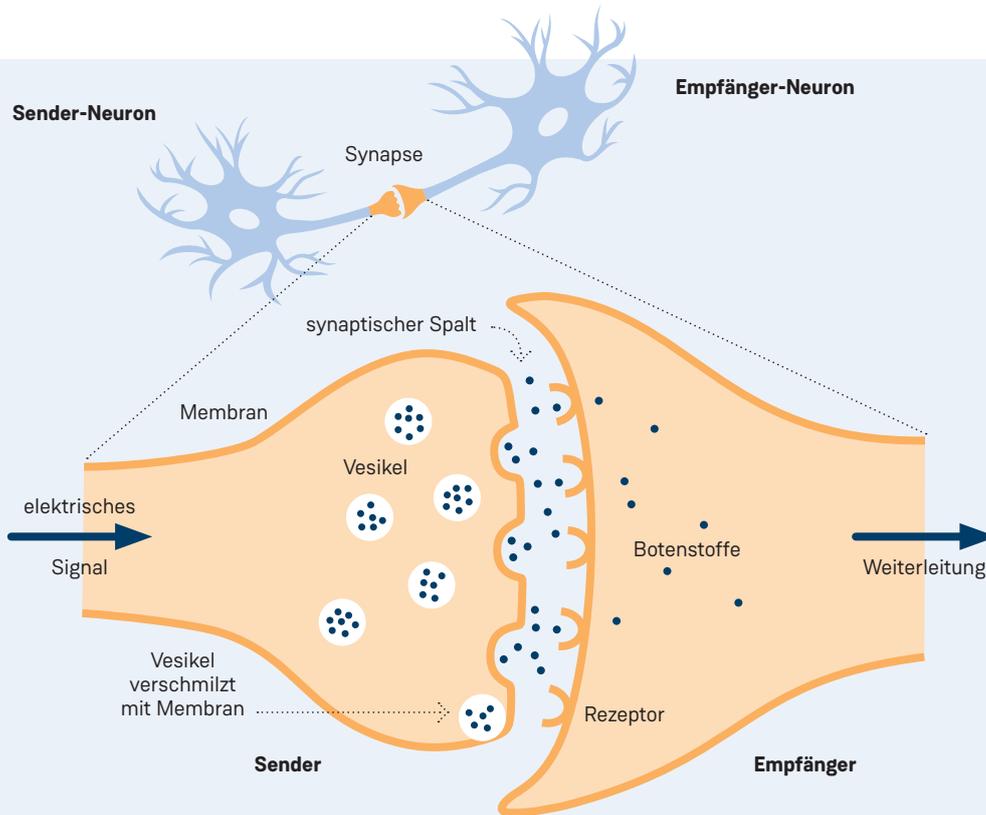


## Offene Fragen

Die Auswertung der 1.000-Gehirne-Studie steht erst am Anfang. Die Forscherinnen und Forscher prüfen zum Beispiel auch, wie sich das Spielen von Musikinstrumenten, die Ernährung, Ausbildung oder verschiedene Umwelteinflüsse wie Feinstaub und Lärm auf den Alterungsprozess auswirken. Sie können dabei mehrere Aspekte gleichzeitig betrachten – etwa ob sich Sport im Team besonders positiv auf das Gehirn auswirkt. So lassen sich Effekte aufdecken, die erst durch das Zusammenspiel verschiedener Faktoren entstehen.

**„Unsere Forschungsergebnisse zeigen eindrucksvoll, dass sich eine gesunde Lebensführung auch anatomisch und funktionell im Gehirn widerspiegelt.“**

PROF. SVENJA CASPERS,  
INSTITUT FÜR NEUROWISSENSCHAFTEN UND MEDIZIN (INM-1)



## Neuronale Synapse

Ein elektrisches Signal löst im Sender-Neuron mehrere Prozesse aus: Mit Botenstoffen gefüllte Bläschen, die Vesikel, verschmelzen mit der Membran der Synapse. Die Botenstoffe wandern in den synaptischen Spalt und docken dann an die Rezeptoren des Empfänger-Neurons an. Das ändert den elektrischen Widerstand dort und bewirkt, dass ein Signal weitergeleitet wird: So werden Informationen gespeichert und verarbeitet. Je öfter zwei Neuronen kommunizieren, desto ausgeprägter wird ihre Verbindung – etwa indem sie mehr Botenstoffe ausschütten oder die Rezeptordichte erhöhen. Das nennt man synaptische Plastizität.

# Drahtige Synapse

Neuronale Netzwerke im menschlichen Gehirn sind herkömmlichen Computern in vielen Bereichen überlegen. Forscher haben ein elektronisches Bauteil entwickelt, das ähnlich wie die Synapse einer Nervenzelle funktioniert. Netze aus solchen Schaltelementen könnten in Zukunft vergleichbar effizient arbeiten wie das Gehirn.

Die Zahlen sind beeindruckend: Schätzungsweise 10.000 Milliarden sogenannte binäre Rechenoperationen pro Sekunde bei einem Energieverbrauch von gerade einmal 20 Watt schafft unser Gehirn. Computer verbrauchen im Vergleich deutlich mehr Energie – ein Standard-PC im Durchschnitt etwa 225 Watt – und sind dabei weitaus weniger effizient als das menschliche Gehirn. Kein Wunder, dass Forscher rund um den Globus die Arbeitsweise des „biologischen Rechners“ kopieren wollen.

Einer von ihnen ist Dr. Ilia Valov vom Peter Grünberg Institut (PGI-7). Gemeinsam mit Kollegen aus Aachen und Turin hat er

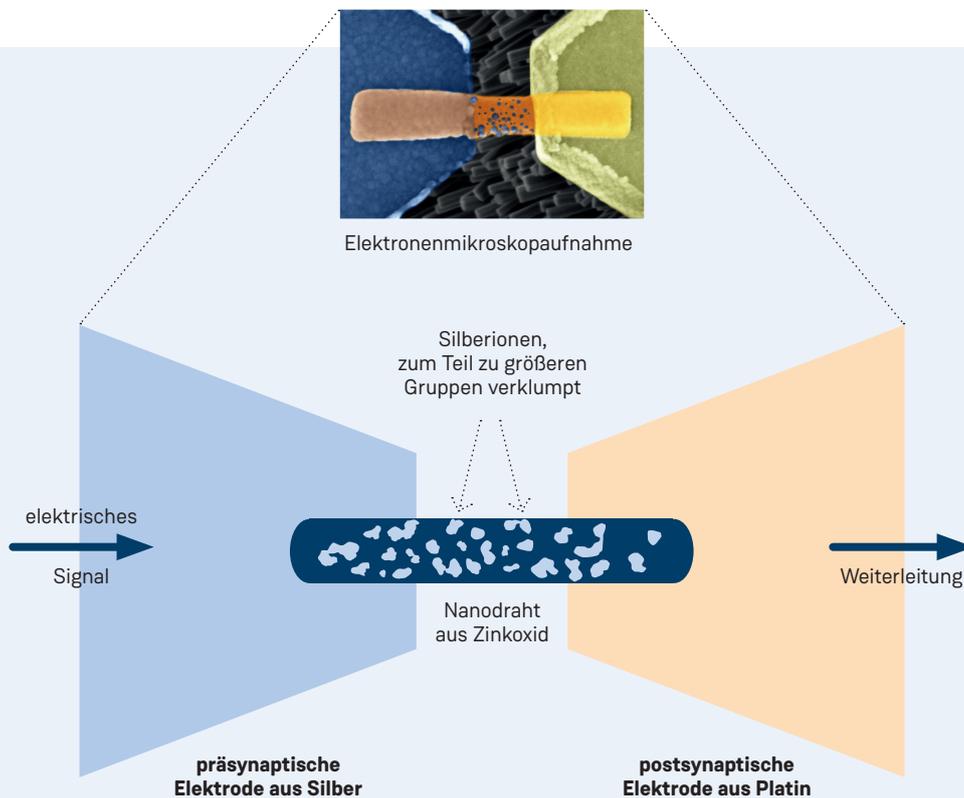
ein neues elektronisches Miniaturbauteil entwickelt: Es kann Informationen verarbeiten und speichern sowie mehrere Signale parallel empfangen. Ein Netzwerk aus vielen solcher Einheiten auf einem Chip wäre ein sogenannter neuromorpher Prozessor, der ähnlich wie das Gehirn funktioniert.

## ANPASSUNGSFÄHIGES VORBILD

Im Gehirn sind Nervenzellen, die Neuronen, zu einem riesigen Netzwerk verbunden – einem neuronalen Netz. Die Kontaktstellen der Neuronen bezeichnet man als Synapsen. „Diese leiten Signale weiter, verarbeiten und speichern Informationen“, erklärt Valov. Dabei können die Synapsen je nach Bedarf

zum Beispiel ihre Größe oder ihre Effizienz anpassen – Experten bezeichnen diese Eigenschaft als synaptische Plastizität. Darauf basieren etwa die Fähigkeiten Lernen und Vergessen. Die Synapsen vereinen also mehrere Funktionen und sind wandlungsfähig.

Klassische elektronische Bauteile können das nicht. Sie sind entweder Speicher- oder Arbeitsmodul. Die beiden Modularten sind stets räumlich voneinander getrennt. Die Übertragung zwischen ihnen benötigt daher mehr Zeit und Energie als bei einem neuronalen Netz. Zudem ist die Computerhardware nicht anpassungsfähig. Sie verändert also nicht ihre Struktur entsprechend erledigter



## Künstliche Synapse (Memristor)

Durch eine positive Spannung an der Silberelektrode (= Sender) beginnen Silberionen auf dem Nanodraht in Richtung der Platinelektrode (= Empfänger) zu wandern. Die Silberionen bilden hierbei eine leitende Brücke zwischen den Elektroden, was den Widerstand senkt. Eine negative Spannung hingegen erhöht den Widerstand. Durch wiederholte elektrische Impulse lässt sich der Widerstand gezielt steuern und die Silberionen bleiben nach Abschalten des Stroms auf dem Draht erhalten (Speichern) oder zerfallen wieder (Vergessen). So ahmt das Bauteil die Plastizität der neuronalen Synapsen nach.

Aufgaben, um diese in Zukunft schneller zu verarbeiten. Bisher nutzen künstliche Intelligenzen (KI) in der Regel solche klassischen Prozessortechniken. Die dezentral organisierte und selbstlernende Arbeitsweise neuronaler Netze ahmen sie lediglich mittels ausgeklügelter Software nach. „Diese Vorgehensweise ist bezüglich des Energie- und Platzverbrauchs ziemlich ineffizient“, erklärt Valov. Besser wäre es, die Funktionsweise des Gehirns mithilfe eines Netzwerks aus künstlichen Synapsen zu simulieren.

Das Synapsen-ähnliche Bauteil des Jülicher Teams besteht aus einem etwa 10.000-stel Millimeter dünnen Draht aus Zinkoxid, der eine Elektrode aus Platin mit einer Elektrode aus Silber verbindet. Fließt Strom durch den Draht, ändert er seinen elektrischen Widerstand abhängig von Stärke und Richtung des Stroms. Das Besondere: Im Gegensatz zu herkömmlichen Transistoren bleibt nach Abschalten des Stroms der letzte Widerstandswert erhalten; auf diese Weise lassen sich Informationen speichern. Wird der Strom wieder angeschaltet, sorgt der geänderte Widerstandswert für einen anderen Stromdurchfluss. Die Bauteile ähneln in ihrem Verhalten also biologischen Synapsen:

Sie verändern ihre Struktur aufgrund der Signale und leiten daher künftige Signale anders weiter.

Im Fachjargon heißen solche Bauteile Memristoren – zusammengesetzt aus dem englischen Wort „memory“ für Speicher und „resistor“ für elektrischen Widerstand. „Das Besondere an unserem Memristor ist, dass er verschiedene Funktionen wie Speichern, Lernen und Vergessen kombiniert“, erklärt

Valov. Bisherige Memristoren konnten jeweils nur eine dieser Eigenschaften nachbilden.

## SCHNELL UND LERNFÄHIG

Um auch die Hardware gemäß dem biologischen Vorbild zu gestalten, müsste es gelingen, die neuen Bauteile zu einem funktionalen Netzwerk zu verbinden, das bestimmte Aufgaben erledigen kann. „Damit ließe sich etwa eine parallele Datenverarbeitung und Speicherung realisieren, was Berechnungen deutlich beschleunigt“, erklärt Valov. Und ähnlich wie das Gehirn könnte ein solcher neuromorpher Prozessor selbstständig lernen – also nach einer Trainingsphase bestimmte Aufgaben besser und schneller erledigen.

Die Forscher arbeiten bereits daran, einzelne künstliche Synapsen zu einem größeren Netzwerk zu verknüpfen. Valov betont jedoch, dass es noch eine ganze Weile dauern wird, bis mit Memristoren tatsächlich Prozessoren gebaut werden. Vorerst bleibt das Gehirn also noch einzigartig.



↑ Experte für elektrochemische Miniaturbauteile:  
Ilija Valov

# Werkstoff im Salzmantel

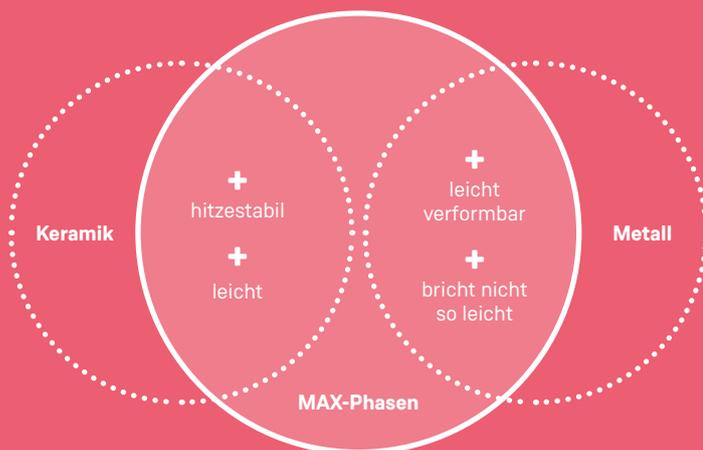
MAX-Phasen gelten als Material der Zukunft. Sie vereinen die Vorteile von Keramiken und Metallen und könnten bei Turbinen oder in der Raumfahrt zum Einsatz kommen.

Bislang fehlt ein geeignetes Verfahren, um das Material industriell herzustellen.

Ein uralter Kniff aus der Küche soll das ändern: der Salzmantel.

## Das beste aus beiden Welten

MAX-Phasen vereinen die positiven Eigenschaften von Keramiken und Metallen:



## Komplizierte Herstellung

Damit die Industrie MAX-Phasen in größeren Mengen weiterverarbeiten kann, benötigt sie das Material in Pulverform. Die Herstellung ist bislang aufwendig und teuer. MAX-Phasen entstehen erst bei über 1.000 Grad Celsius. Damit die Materialien dabei nicht mit dem Luftsauerstoff reagieren und oxidieren, werden sie im Vakuum oder in einer Schutzatmosphäre aus Argon hergestellt.

## Mögliche Anwendungen



## Der Trick mit dem Salzmantel

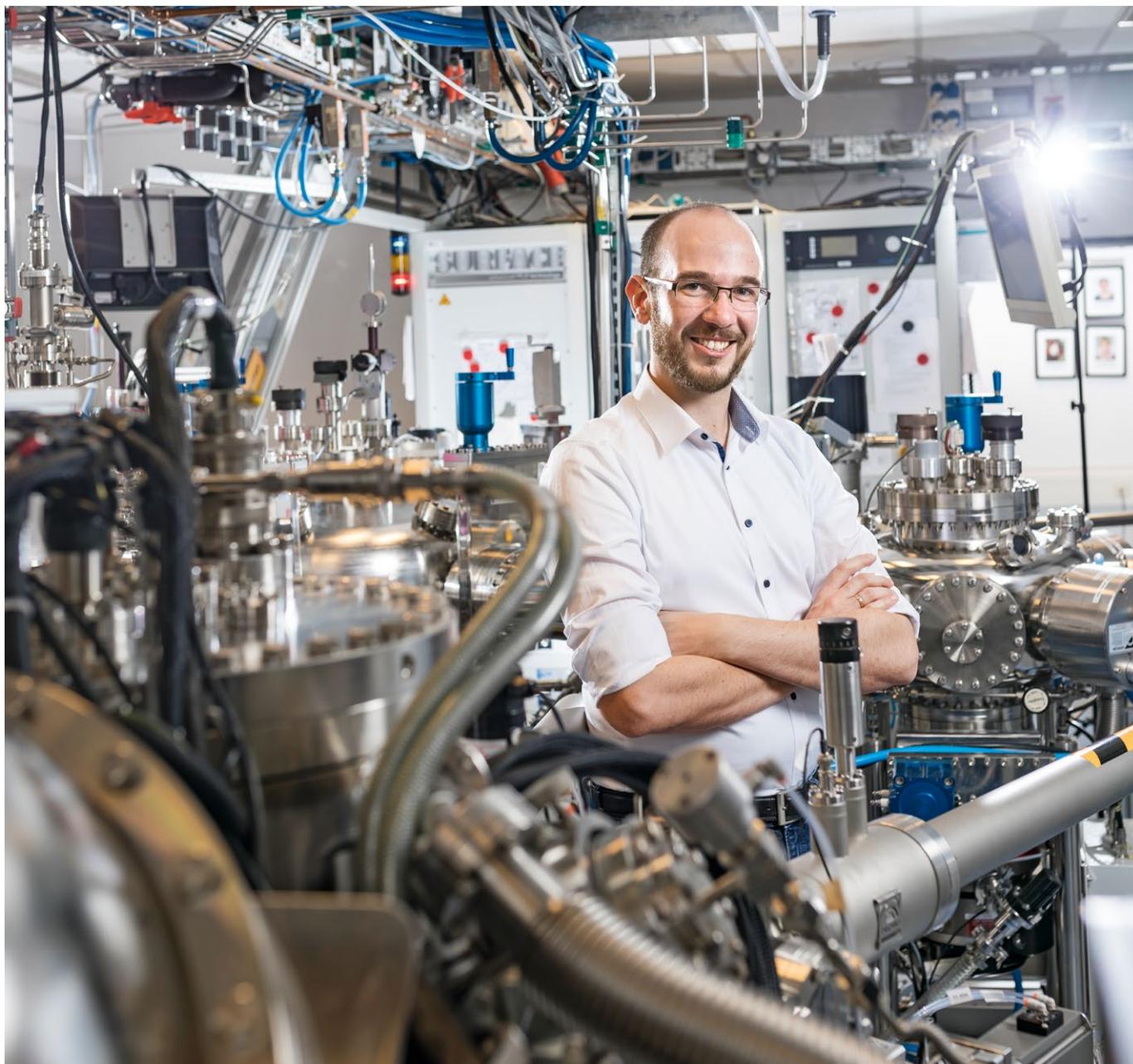


Die Jülicher Werkstoffexperten Apurv Dash und Prof. Jesus Gonzalez-Julian haben im Projekt MAXCOM\* eine verblüffend einfache Methode entwickelt, um MAX-Phasen herzustellen. Die Forscher vom Institut für Energie- und Klimaforschung (IEK-1) umschließen die Ausgangsstoffe mit einem Bad aus flüssigem Salz (Kaliumbromid) (1). Das Prinzip kennt man

aus der Küche: Der Salzmantel verhindert, dass Aromen und Nährstoffe von Fisch, Fleisch oder Gemüse beim Garen entweichen. Bei den MAX-Phasen hingegen schützt die Ummantelung vor eindringendem Sauerstoff. Eine spezielle Schutzatmosphäre ist daher nicht nötig, zum Erhitzen reicht ein normaler Ofen. Das Salz wirkt außerdem als Trennmittel:

Es verhindert, dass die verschiedenen Komponenten der MAX-Phasen zusammenbacken, und sorgt dafür, dass feinkörniges Pulver entsteht. Das Salz selbst schmilzt zu einer festen Masse (2), die beim Abkühlen erstarrt (3). Das Salz kann anschließend mit Wasser gelöst und gewegewaschen werden (4). Das Pulver wird dann getrocknet (5).

\* MAXCOM wird seit 2016 für fünf Jahre vom Bundesministerium für Bildung und Forschung gefördert.



## Woran forschen Sie gerade, Herr Bäumer?

**Dr. Christoph Bäumer arbeitet als „Marie-Skłodowska-Curie Fellow“ der EU an der RWTH Aachen, dem Forschungszentrum Jülich und der Stanford University in den USA.**

„Ich suche neue Materialien, um Energie mithilfe von Wasserstoff zu speichern. Konkret geht es um Katalysatoren für die Elektrolyse von Wasser, also um Stoffe, die die Spaltung von Wasser in Wasserstoff und Sauerstoff beschleunigen. Bisher verwendete Materialien wie Platin sind teuer und selten oder zu empfindlich für den Dauerbetrieb. Wir untersuchen günstigere Alternativen wie Nickeloxide, die wir in unserer Anlage in Jülich herstellen und testen. Wir wollen die Prozesse auf atomarer Ebene an der Oberfläche der Materialien verstehen, um stabile und effiziente Katalysatoren zu entwickeln.“



# AEROSOLE

Aerosole sind Gemische aus Gas und darin schwebenden festen Teilchen (Rauch) oder Tröpfchen (Nebel, Spray) - von winzigen Nanopartikeln bis hin zu sichtbarem Staub.

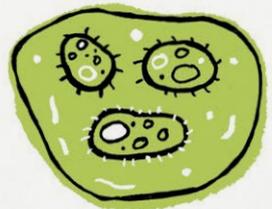
## QUELLEN



Aerosole entstehen durch Verbrennen, Versprühen oder Abrieb,...



...bilden sich durch chemische Reaktionen in der Atmosphäre und Gruppierung mehrerer Moleküle zu Partikeln oder Tröpfchen...



...und können als Teilchen auch Bakterien und Viren, Sporen oder Pollen enthalten.



## 70.000-

mal dünner als ein menschliches Haar sind die kleinsten Aerosolpartikel, sie messen 1 Nanometer. Grobe Partikel können sogar dicker als ein Haar sein.

## WIRKUNG

Aerosole beeinflussen die Wolkenbildung und das Klima. Beim Menschen können sie zu Allergien und Erkrankungen, etwa der Atemwege führen. Gezielt nutzen lassen sie sich in Sprays.

## WAS MACHT JÜUCHT?

Feldbeobachtungen, Laborexperimente und Modellierungen zu:

- Quellen von Aerosolen
- Zusammensetzung und Größenverteilung von Aerosolen
- Chemische Umwandlung in der Atmosphäre
- Einfluss auf Wolkenbildung
- Rolle im Klimagechehen
- Auswirkung auf die Luftqualität



So bewegen sich Spermien mit unterschiedlichem Geißelschlag. Zum Anschauen: [effzett.fz-juelich.de](http://effzett.fz-juelich.de)

Wie dicht ein Spermium an der Kurve einer Wand bleibt, hängt von der Art des Geißelschlages ab.

# Immer an der Wand lang

Millionen machen sich auf die Suche und nur eines wird fruchtig: Die Rede ist von Spermien und dem Wunder der Befruchtung. Doch wie finden die 60 Mikrometer großen Zukunftsmacher ihren Weg durch enge, gewundene Kanäle wie etwa den Eileiter? Jülicher Biophysiker klären auf.

Spermien sind Langstreckenschwimmer. Bis zu ihrem Ziel, der Eizelle, müssen sie rund 15 Zentimeter zurücklegen. Das ist das 2.500-Fache ihrer eigenen Länge. Für einen Menschen wären das entsprechend rund 4,5 Kilometer. Was Spermien vorantreibt, ist schon länger bekannt – Peitschenschläge ihres Schwanzes, der Geißel. Doch wie schwimmen die DNS-Träger durch winzige Kanäle? Dr. Jens Elgeti und seine Kollegen vom Institute of Complex Systems und Institute for Advanced Simulation (ICS-2/IAS-2) haben das mithilfe des Supercomputers JURECA simuliert.

„Ein Spermium drückt sich bei der Vorwärtsbewegung – immer mit dem Kopf voraus – leicht schräg gegen die Wand des Mikrokanals, sodass es in der Nähe der Wand bleibt. Selbst leichte Windungen passiert es so mühelos“, sagt Jens Elgeti. Ab einem bestimmten Krümmungsradius geht der Kontakt zur Wand allerdings verloren. Wann die Tuchfühlung mit der Wand abreißt, liegt an der Art des Geißelschlages des Spermiums, wie die Forscher herausgefunden haben. Dieser ist nicht immer gleich: Die Geißel kann in zwei oder in drei Raumrichtungen

schwänzeln. Das hat Konsequenzen für die Schwimmroute: „Die Spermien mit einem dreidimensionalen Geißelschlag bleiben auch bei deutlich stärkeren Krümmungen an der Wand – im Gegensatz zu solchen, die nur in einer Ebene schlagen“, erklärt der Forscher.

Spermien bewegen sich also abhängig von ihrem Geißelschlag unterschiedlich durch gewundene Gänge. Das lässt sich nutzen.



↑ Jens Elgeti erforscht, wie sich sogenannte Mikroschwimmer bewegen, zum Beispiel Spermien und Bakterien.

Im Labor beispielsweise, um Spermien für eine künstliche Befruchtung zu sortieren. „Aus Untersuchungen anderer Forscher ist bereits bekannt, dass es einen Zusammenhang zwischen dem Erbgut der Spermien und ihrem Schwimmstil gibt“, sagt Elgeti. „Wenn man dazu mehr Details weiß, lassen sich über eine Art Hindernislauf vielleicht minderwertige von hochwertigen Spermien trennen und so die Wahrscheinlichkeit einer erfolgreichen künstlichen Befruchtung verbessern.“ Auch bei der Empfängnisverhütung könnten die Erkenntnisse helfen: Wenn klar ist, welche Schlagtechnik die Spermien zur Eizelle bringt, könnten Medikamente das Schwänzeln stören und so die DNS-Träger auf ihrem Weg ausbremsen.

Doch zunächst wollen der Biophysiker Elgeti und seine Kollegen die Schwimmtechnik der Spermien besser verstehen: „Wir untersuchen derzeit, wie das Wechselspiel von aktiven Kräften und Geißel-Elastizität den Schlag beeinflusst“, sagt Elgeti – unter anderem, indem sie Spermien unter dem Hochgeschwindigkeitsmikroskop beobachten.



# Ausgetrocknet

Das Jahr 2018 war sehr heiß, aber vor allem extrem trocken. Geht es 2019 so weiter, haben Grundwasserspiegel und Wasserressourcen keine Chance, sich zu erholen. Größter Verlierer der Dürre ist jedoch das Klima.

„Heißzeit“ – der Begriff sorgte 2018 als „Wort des Jahres“ bundesweit für Schlagzeilen. Der Sommer war in der Tat ungewöhnlich warm – mit durchschnittlich 10,4 Grad Celsius war 2018 sogar das wärmste Jahr seit Beginn deutschlandweiter Wetteraufzeichnungen im Jahr 1881. Vor allem für die Landwirte war aber nicht die Hitze das größte Problem, sondern die ab Juni anhaltende extreme Trockenheit.

„Unsere Messstationen auf Wiesen und in Wäldern in der Eifel sowie auf einem Acker in Selhausen bei Jülich verzeichneten 2018 im Jahresdurchschnitt bis zu 23 Prozent weniger Niederschlag als üblich“, berichtet Dr. Alexander Graf vom Institut für Bio- und Geowissenschaften (IBG-3). Die drei Stationen gehören zu der Helmholtz-Initiative TERENO, ein Netzwerk zur Erdbeobachtung von der norddeutschen Tiefebene bis

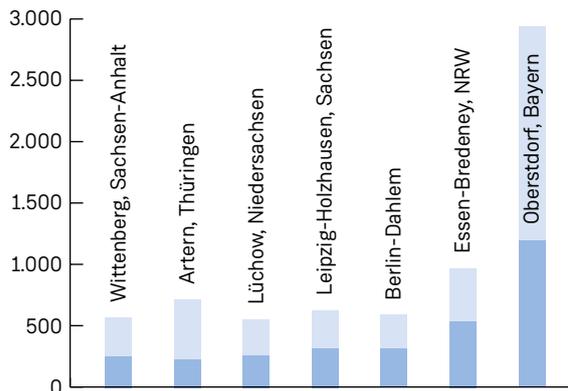
zu den bayerischen Alpen. Die Forscher messen, wie die Landoberfläche und die Atmosphäre Stoffe und Energie austauschen – vom Niederschlag über die Verdunstung bis hin zu Kohlendioxid.

Im Vergleich zu den Jülicher Standorten regnete es in anderen deutschen Regionen sogar noch viel weniger (siehe Grafik S. 29). Laut dem Dürremonitor Deutschland waren Sommer und Herbst im Vergleich zum Mittelwert seit 1951 noch nie so trocken wie 2018. Die Trockenheit dauerte auch dann noch an, als im September die große Hitze vorbei war. Da das Boden- und Grundwassersystem verzögert auf ausbleibenden Regen reagiert, war für die Böden der Höhepunkt erst Anfang Dezember erreicht. „Die Dürre 2018 hängt immer noch im System“, sagt Graf.

## Trockene Rekorde

Niederschlag 2018 an ausgewählten Orten (in Millimetern)

■ 2018 ■ langjähriges Jahresmittel



### SCHLECHTE STARTBEDINGUNGEN

„Die Bodenfeuchte war Anfang 2019 in den meisten Regionen deutlich geringer als im Jahr zuvor, der Grundwasserstand ebenfalls deutlich niedriger. Regnet es auch in diesem Jahr zu wenig, könnte sich die Situation in den betroffenen Gebieten weiter verschärfen. Manche Folgen zeigen sich mit Verzögerung: In Wäldern können solche Witterungsereignisse beispielsweise Jahre später zu Schädlingsepidemien führen.“

Der größte Verlierer der Dürre 2018 war laut Alexander Graf das Klima: „Jeder Sommer wie der in 2018 ist für unsere Biosphäre eine verlorene Chance, um die Kohlendioxid-Last in der Atmosphäre abzubauen“, so der Jülicher Experte. Als Faustregel gilt: Eine Fläche, die weniger verdunstet als sonst, nimmt auch weniger Kohlendioxid auf als sonst – entweder, weil die Pflanzen ohnehin vertrocknet sind. Oder weil sie ihre Spaltöffnungen in den Blättern verschließen und weniger Photosynthese betreiben, bei der Zucker und

Sauerstoff aus Kohlendioxid, Licht und Wasser entstehen. Das bedeutet: Die Pflanzen wachsen schlechter und nehmen weniger Kohlendioxid auf. Mehr CO<sub>2</sub> in der Atmosphäre führt aber dazu, dass der Treibhauseffekt verstärkt wird und so die globale Erwärmung voranschreitet – und damit der Klimawandel. Globale Erwärmung bedeutet wiederum im Durchschnitt mehr Trockenheit – ein Teufelskreis.



„Die Dürre 2018 hängt noch im System. Regnet es auch in diesem Jahr zu wenig, könnte sich die Situation weiter verschärfen.“

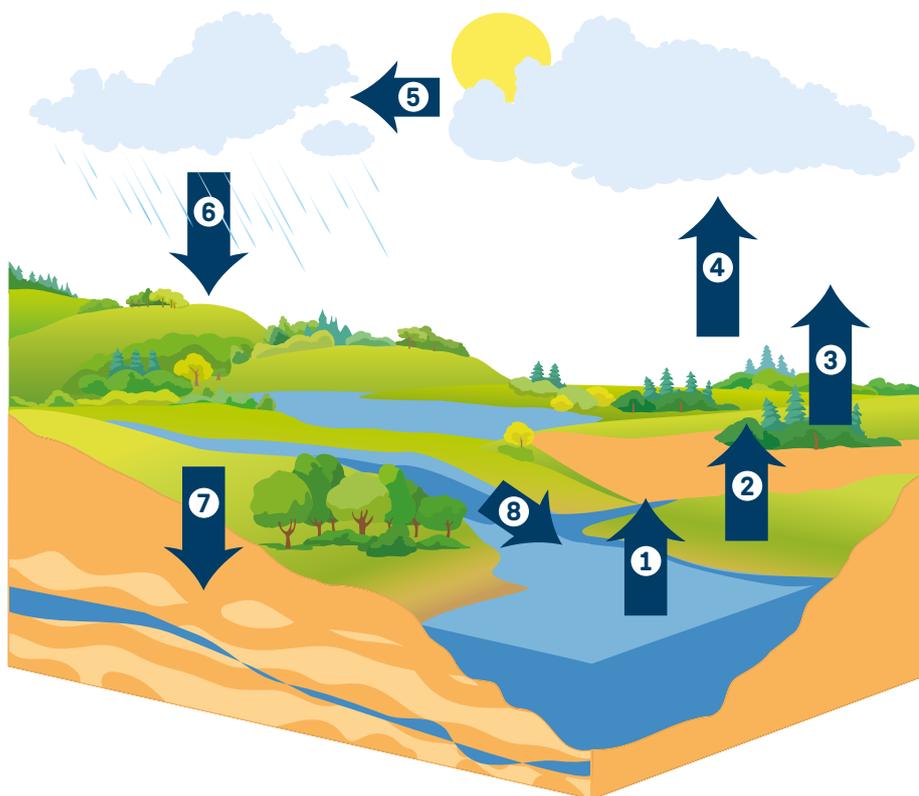
DR. ALEXANDER GRAF,  
INSTITUT FÜR BIO- UND GEOWISSENSCHAFTEN (IBG-3)

# Wem das Wasser fehlt

Wälder, Wiesen, Böden und Äcker reagierten 2018 sehr unterschiedlich auf zu viel Sonne und zu wenig Regen. Die Verdunstung spielte eine wichtige Rolle.

Die Verdunstung ist Teil des Wasserkreislaufs, sie beeinflusst aber auch den Strahlungshaushalt der Atmosphäre – die Bilanz aus eingestrahelter Sonnenenergie und von der Erde wieder abgegebener Energie. Denn die Umwandlung von Wasser in Wasserdampf verbraucht Sonnenenergie, die auf die Erde trifft. Wie viel Wasserdampf in die Atmosphäre gelangt, hängt von verschiedenen Faktoren ab: etwa wie stark die

Sonne scheint, wie trocken die Luft oder wie windig es ist. Gelangt wie im Jahr 2018 durch viele Sonnenstunden mehr Sonnenenergie auf die Erde, kann das durch eine erhöhte Verdunstung ausgeglichen werden. Die Atmosphäre „braucht“ dann mehr Wasserdampf. „Bei unseren drei Standorten waren es 13 bis 16 Prozent mehr als im Vorjahr“, berichtet Alexander Graf. Das Problem: Kann die Erdoberfläche so einen Mehrbedarf an Wasserdampf überhaupt abdecken, wenn es wie im Sommer 2018 wochenlang nicht geregnet hat? „Das hängt regional stark von der Art und Nutzung der jeweiligen Oberfläche ab“, erklärt Graf. >



## Der Wasserkreislauf

Bei der Verdunstung wird an der Erdoberfläche Wasser in Wasserdampf umgewandelt – über Gewässern (1) und Böden (2) sowie durch Pflanzen (3). Der Wasserdampf steigt auf (4), kühlt sich dabei ab und kondensiert zu Wolken (5). Danach fällt er als Niederschlag wieder auf die Landoberfläche zurück (6), wo der Niederschlag ins Grundwasser versickert (7) und Seen, Flüsse sowie Ozeane mit neuem Wasser versorgt (8). Anschließend beginnt der Kreislauf von Neuem.

## Acker

Der Acker in Selhausen, auf dem Jülicher Forscher dauerhaft Messdaten sammeln, verdunstete 2018 ein Viertel weniger Wasser als in einem normalen Jahr. Der Grund: Aufgrund der warmen Temperaturen konnte der Landwirt sein Getreide eher ernten als sonst. Dadurch lag die Fläche deutlich früher brach. Grund- und Bodenwasser waren anschließend so tief abgesunken, dass die sogenannten Kapillarkräfte im Boden nicht ausreichen, um das Wasser an die Erdoberfläche zu holen. Ein weiterer Effekt: „Solche Flächen, die keinen kühlenden Wasserdampf abgeben, tragen dazu bei, einen ohnehin warmen Sommer noch wärmer zu machen“, erklärt Graf.

## Wald und Wiese

Sowohl der Wald als auch das Grünland in der Eifel verdunsteten im Gegensatz zum Vorjahr bis zu sieben Prozent mehr Wasser trotz Trockenheit. Das geschah vor allem über die Pflanzen. Ihr Wurzelwerk war tief genug, um noch vorhandene Wasserreserven zu nutzen. Damit konnten diese Oberflächen den größeren Wasserdampfbedarf der Atmosphäre immerhin zum Teil abdecken. Dieses Plus hatte aber einen Preis: 2018 lieferten die beiden untersuchten Standorte 22 Prozent weniger (Wald) beziehungsweise 38 Prozent (Wiese) weniger Wasser für Flüsse und die Grundwasserneubildung.

# 2.000

Stunden schien die Sonne im Jahr 2018 in Deutschland. Das ist der höchste Durchschnittswert seit Beginn der Messungen in Deutschland im Jahr 1951

## Flüsse

Die Pegelstände verschiedener Flüsse fielen bis Herbst auf Rekordtiefe. Zum Beispiel lag der Pegel des Rheins in Köln im Oktober bei 69 Zentimetern. Das waren zwölf Zentimeter weniger als bei der vorherigen Tiefstmarke vom September 2003. Wegen der niedrigen Wasserstände mussten etliche Binnenschiffe den Verkehr wochenlang einstellen oder mit geringer Fracht fahren.

## Grundwasserneubildung

„Die Absenkung des Grundwasserspiegels in 2018 ist deutlich zu erkennen – und zwar nicht nur in Deutschland, sondern in ganz Mitteleuropa“, wie Prof. Stefan Kollet vom Institut für Bio- und Geowissenschaften (IBG-3) festgestellt hat. Er und sein Team haben Europa vom Grundwasser bis in die Atmosphäre modelliert und daraus die Grundwasserspiegeltiefen von 1996 bis 2018 über Mitteleuropa errechnet.



# GEFÄLLT UNS

WISSENSCHAFTSJAHR

## KI auf Abwegen

Wir steuern Geräte per Spracherkennung, Algorithmen unterstützen uns bei der Internetrecherche und Navigationssysteme leiten uns ans Ziel: Künstliche Intelligenz (KI) ist längst Teil unseres Alltags. Doch wie bei vielen technologischen Neuerungen funktioniert auch im Bereich der KI nicht immer alles nach Plan. Manchmal kommt ein selbstlernendes System zu Ergebnissen, die nicht unbedingt den Erwartungen entsprechen. Unter dem Motto „Da kommt ja kein Mensch drauf!“ sind einige der amüsantesten KI-Geschichten auf der Webseite des „Wissenschaftsjahrs 2019“ zusammengestellt.

- [WWW.WISSENSCHAFTSJAHR.DE/2019/NEUES-AUS-DER-WISSENSCHAFT/DA-KOMMT-JA-KEIN-MENSCH-DRAUF](http://WWW.WISSENSCHAFTSJAHR.DE/2019/NEUES-AUS-DER-WISSENSCHAFT/DA-KOMMT-JA-KEIN-MENSCH-DRAUF) -



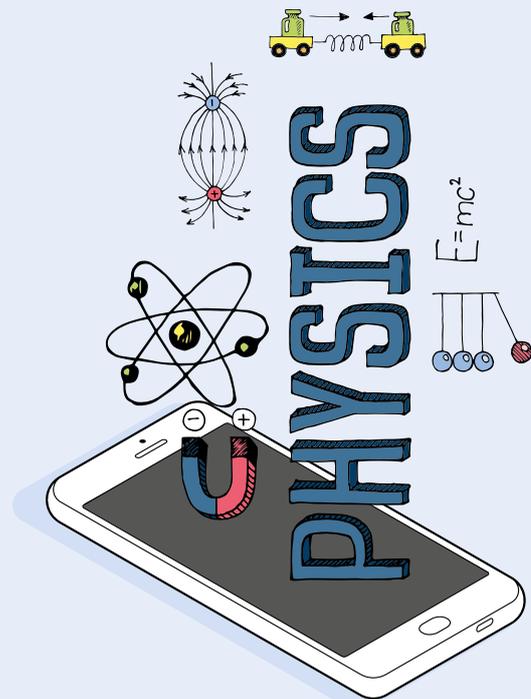
SCHÜLEREXPERIMENT

## Klimakrimi mit Happy End

An einem Wetterballon befestigt, steigt eine Videokamera bis in eine Höhe von 34 Kilometern in die Stratosphäre, der Ballon platzt und die Kamera sowie andere Messtechnik sinken an einem Fallschirm zurück zur Erde. Dieses spektakuläre Video des Physik-Leistungskurses des Troisdorfer Heinrich-Böll-Gymnasiums hätte es fast nicht gegeben: Ballon und Ausrüstung – eine Leihgabe des Jülicher Atmosphärenforschers Christian Rolf – verschwanden nach der Landung spurlos. Erst nach einigen Tagen legte der reuige Dieb Kamera und Messgeräte heimlich auf dem Schulhof des Gymnasiums ab.

- [WWW.YOUTUBE.COM/USER/FORSCHENINJUELICH](http://WWW.YOUTUBE.COM/USER/FORSCHENINJUELICH) -

- STICHWORT: WETTERBALLON -



PHYSIK-APP

## Mobiles Labor für die Hosentasche

Sie wollten schon immer wissen, wie schnell Sie mit dem Fahrstuhl fahren? Die an der RWTH Aachen entwickelte App „phyphox“ macht's möglich. Mit ihrer Hilfe wird das eigene Smartphone zum reich bestückten Experimentierkasten. „Phyphox“ nutzt dafür die Sensoren des Telefons und verwendet die gewonnenen Daten für physikalische Versuche. So lässt sich zum Beispiel die Funktionsweise eines Sonars nachvollziehen, die Erdbeschleunigung messen oder die Fallgeschwindigkeit bestimmen. Eine Website zur App bietet weitere Versuchsideen, Erklärvideos und Anleitungen.

Physik auf die smarte Art.

- [HTTPS://PHYPHOX.ORG](https://PHYPHOX.ORG) -

# FORSCHUNG IN EINEM TWEET

„Herzlichen Glückwunsch, HALO!  
Du bist seit 10 Jahren ein cooles  
Forschungsflugzeug. Wir wünschen  
uns noch viele gemeinsame Missionen  
mit Dir!“ #Klimaforschung

---



## Das Forschungsflugzeug HALO

nahm am 24. Januar 2009 seinen Dienst auf. Seitdem hat der Jet in 23 Missionen alle Ozeane und Kontinente der Erde überflogen und dabei Umwelt- und Klimadaten in bis zu 15 Kilometer Höhe gesammelt. Oft mit an Bord: Wissenschaftler und Geräte des Forschungszentrums Jülich, einem der sechs Träger des deutschen Gemeinschaftsprojekts HALO.

[fz-juelich.de/halo](https://fz-juelich.de/halo)