

Einzigartig!

Kein Gehirn gleicht dem anderen.
KI hilft, individuelle Merkmale
zu entdecken



POTENZIAL ERSCHLIESSEN

Buchweizen ist wertvoll für
Mensch und Äcker

MANGEL BEHEBEN

Neue Quelle stärkt
Neutronenforschung

ERTRAG OPTIMIEREN

Digitale Zwillinge helfen
der Landwirtschaft



Plüschiger Publikumsmagnet

Über 20.000 Gäste lockte der Tag der Neugier Anfang September 2025 auf den Campus des Forschungszentrums Jülich.

Bei strahlendem Sonnenschein konnten die Besucher:innen Labore und Werkstätten besuchen, selbst experimentieren und viel Wissenswertes erfahren – etwa über Energie-, Klima- und Hirnforschung oder über Künstliche Intelligenz, Super- und Quantencomputing. Heimlicher Star des Tages war aber kein Supercomputer oder Großgerät, sondern ein plüschiger blauer Fuchs. Überall, wo Dr. JuFuchs, das neue Maskottchen des Forschungszentrums, auftauchte, war er sofort umringt von Groß und Klein.

Videorückblick und Fotogalerie zum Tag der Neugier:

www.tagderneugier.de/de

4 Aus der Redaktion | Impressum

5 NACHRICHTEN

TITELTHEMA

8 Jedes Hirn ein Unikat

Individuelle Unterschiede statt Durchschnitt – KI und Big Data ermöglichen neue Wege in der Hirnforschung.

13 Besserwissen

Magnetresonanztomographie (MRT)

14 Gehirne altern unterschiedlich

Wie Lebensumstände unser Gehirn prägen.

16 Vom Hirnatlas zum personalisierten Modell

Interview mit der Neurowissenschaftlerin Katrin Amunts

FORSCHUNG

18 Erst andocken, dann wegputzen

Wie ein Bakterium sein wichtigstes Hilfsmittel gegen Ölverschmutzungen herstellt.

19 Woran forschen Sie gerade, Frau Heume?

20 Gegen den Knoten im Kopf

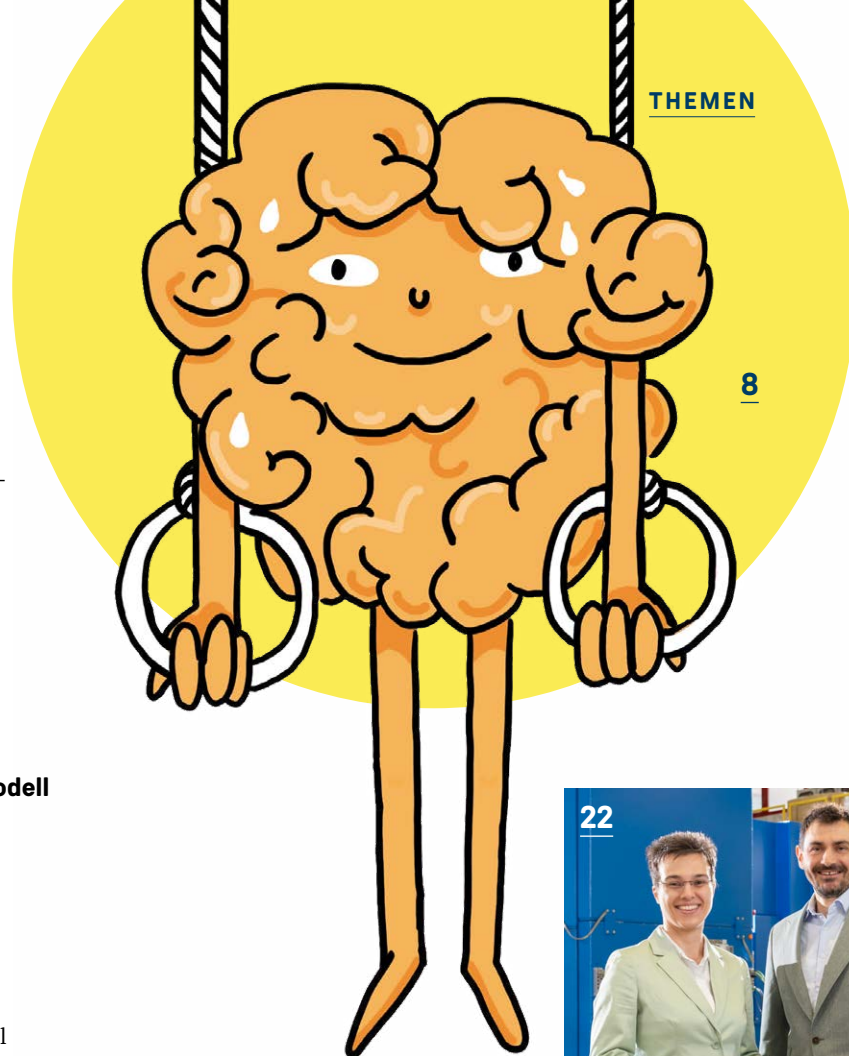
Ein maßgeschneidertes Molekül könnte Fehler im Protein DISC1 vermeiden. Diese gelten als Risikofaktor für psychische Erkrankungen.

22 Brillantes Konzept gegen Neutronenmangel

Eine neue Quelle soll mehr Neutronen produzieren. Die Teilchen liefern einzigartige Informationen über Materialien.

25 Nachhaltige Milch-Alternativen

Wie Neutronen helfen, Milch aus Blättern der Zuckerrübe oder Luzerne zu entwickeln.



26 Offen für Neues

Anke Nölscher setzt bei der Klimaforschung auf Teamwork und den Blick über den Tellerrand.

28 Neuer Auftritt eines alten Bekannten

In Buchweizen steckt Potenzial für Mensch und Umwelt. Forscher:innen arbeiten an seinem Comeback.

30 Digitale Ebenbilder

Virtuelle Farmen oder Ökosysteme: Mit digitalen Zwillingen lassen sich komplexe Systeme besser verstehen und gezielt steuern.

33 Frostige Aussichten für Transistoren

Qing-Tai Zhao erklärt, wie sich mit Tieftemperatur-elektronik Strom sparen lässt.

34 Der einfache Weg zum Widerstand

Memristoren könnten das Eichen von Messgeräten erleichtern.

35 Gefällt uns

36 Forschung in einem Tröt

Einzigartig

Die These ist verlockend: Wer außergewöhnlich schlau ist, muss ein besonderes Gehirn besitzen. Das dachte wohl auch der US-Pathologe, der Albert Einsteins Gehirn nach dessen Tod stahl. Selbst kein Experte, verschickte er zunächst einzelne Proben an Neuroanatomen – ohne Ergebnis, da die Proben zu klein waren. Erst nach über 30 Jahren gab es umfassendere Untersuchungen, die dann doch anatomische Besonderheiten lieferten: fehlende Hirnwindungen, eine dünnere Hirnrinde, eine dickere Verbindung zwischen den Hirnhälften. Doch nichts davon erklärt Einsteins Genialität. Ohnehin ist heute klar, dass unterschiedlich gebaute Hirne Ähnliches leisten können. Und dass kein menschliches Gehirn dem anderen gleicht.

Wie KI und Big Data helfen, relevante individuelle Merkmale zu identifizieren, und was das für Forschung und Medizin bedeutet, erläutert unsere Titelgeschichte.

Mit dem Exascale-Computer JUPITER steht in Jülich bereits ein einzigartiger Superrechner in Europa. Demnächst soll ein anderes einzigartiges Großgerät hinzukommen: eine neuartige Neutronenquelle. Sie soll helfen, den Bedarf der Forschung an Neutronen zu decken, mit denen sich zum Beispiel Materialeigenschaften auf atomarer Skala untersuchen lassen. Ein anderes wichtiges Hilfsmittel der Wissenschaft sind sogenannte digitale Zwillinge. Jülicher Forscher:innen nutzen sie etwa, um die Landwirtschaft gegen Klimaveränderungen zu wappnen.

Wir freuen uns, Ihrem einzigartigen Hirn mit dieser effzett neues Futter zu liefern.

Viel Spaß beim Lesen!
Ihre effzett-Redaktion



Die Printausgabe der effzett im Abo?
Ganz einfach:
go.fzj.de/effzett-abo



Impressum

effzett Magazin des Forschungszentrums Jülich, ISSN 1433-7371

Herausgeber: Forschungszentrum Jülich GmbH, 52425 Jülich

Konzeption und Redaktion: Annette Stettin, Dr. Barbara Schunk, Christian Hohfeld, Armin Großek (V.i.S.d.P.)

Autor:innen: Marcel Bülow, Janosch Deeg, Dr. Frank Frick, Christian Hohfeld, Dr. Regine Panknin, Dr. Artur Denning, Dr. Barbara Schunk, Tobias Schläßer, Brigitte Stahl-Busse, Anna Tipping

Grafik und Layout: SeitenPlan GmbH, Dortmund

Bildnachweise: Forschungszentrum Jülich/Astrid Eckert (25 o. li.); Forschungszentrum Jülich/Jenő Gellinek (32 u. re.); Forschungszentrum Jülich/Sascha Kreklau (2, 3 li. und u., 7 re., 10, 21 o., 22, 24, 28, 31, 32 u. li., 34); Forschungszentrum Jülich/Ralf-Uwe Limbach (15); Forschungszentrum Jülich/Bernd Nörig (26-27, 33, 36); Forschungszentrum Jülich/Kurt Steinhausen (5 o.); Adobe Stock (6); Mareen Fischinger/Forschungszentrum Jülich (16); Jürgen Moers (35);

SeitenPlan (5 u., 7 o. li., 18, 23, 32 o.); SeitenPlan/Diana Köhne (Titel, 3 o., 8-17 (alle Illustrationen)); Manfred Stich/ZEISS (19); alle im Folgenden genannten Motive sind von Shutterstock.com: Hurca (20-21 (Illustration)); Ortis (25 o. re.); OSweetNature (23 re. (Targetkern)); Royal BU 2 (29 u.); Yeti studio (7 u. (Montage SeitenPlan))

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

Druck: Schloemer Gruppe GmbH

Auflage: 2.800

Alle in der effzett verwendeten Bezeichnungen sind geschlechtsneutral zu verstehen. Wird auf eine Nennung verschiedener Varianten der Bezeichnungen verzichtet, geschieht das allein aus Gründen der besseren Lesbarkeit.





EXASCALE-RECHNER JUPITER

Feierlicher Start

Vor hochrangigen Gästen aus Politik, Wissenschaft und Wirtschaft wurde der Jülicher Exascale-Rechner JUPITER Anfang September der Öffentlichkeit vorgestellt. Der schnellste und energieeffizienteste Supercomputer Europas eignet sich perfekt für KI-Anwendungen und wird künftig helfen, Antworten auf die drängenden Fragen unserer Zeit zu finden. Bei dem Festakt dabei waren unter anderem Bundeskanzler Friedrich Merz (5. v.r.), Nordrhein-Westfalens Ministerpräsident Hendrik Wüst (4.v.l.) und die EU-Kommissarin für Start-ups, Forschung und Innovation Ekaterina Zaharieva (3.v.l.).

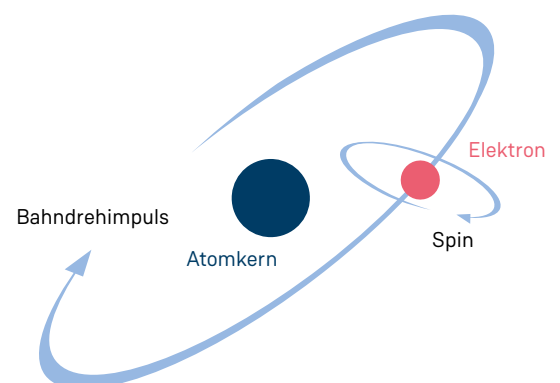
Eine Video-Aufzeichnung der Veranstaltung und viele Informationen rund um JUPITER finden Sie hier: www.fz-juelich.de/de/newsroom-jupiter

INFORMATIONSTECHNOLOGIE

Impuls speichert Informationen

Jülicher Wissenschaftler:innen haben einen Effekt entdeckt, der eine neue Klasse elektronischer Bauelemente ermöglichen könnte. Im Mittelpunkt: der Bahndrehimpuls des Elektrons. Der galt lange eher als physikalische Nebensache, in den meisten Kristallen wird er unterdrückt. Die Forscher:innen konnten zeigen, dass der Impuls in bestimmten Materialien nicht nur erhalten bleibt, sondern sich sogar aktiv steuern lässt. Informationen könnten so über die Richtung und Orientierung des Bahndrehimpulses übertragen und gespeichert werden – genau das ist das Ziel des aufstrebenden Fachgebiets Orbitronik.

- PETER GRÜNBERG INSTITUT -



BIOELEKTRONIK

Wie Synapsen im Gehirn

Noch ist es ein Traum: elektronische Geräte, die auf ähnliche Weise „lernen“ wie unser Gehirn. Jülicher und Aachener Wissenschaftler:innen haben eine neue Technologie entwickelt, die die Forschung einen wichtigen Schritt voranbringt. Ihre sogenannten organischen photoelektrochemischen Transistoren (OPECTs) ahmen das Verhalten von Synapsen im Gehirn nach und lassen sich mit Licht steuern. Die Bauteile arbeiten stromsparend und lassen sich flexibel an unterschiedliche Anforderungen anpassen. Sie könnten etwa als Schnittstelle zwischen Technik und Nervenzellen in Sehprothesen, für hochpräzise optische Sensoren oder neuartige Gehirn-Maschine-Schnittstellen eingesetzt werden.

- INSTITUT FÜR BIOLOGISCHE
INFORMATIONSPROZESSE -

8

... Expert:innen aus Wissenschaft und Wirtschaft hat Bundeskanzler Friedrich Merz in den Strategiekreis für Technologie und Innovation berufen. Darunter ist die Vorstandsvorsitzende der Forschungszentrums Jülich, Prof. Astrid Lambrecht. Der Kreis ist das höchste technologie- und innovationspolitische Beratungsgremium der Bundesregierung.

KLIMAANPASSUNG

Wo sich Direct Air Capture lohnt

Sie gilt als ein vielversprechendes Werkzeug auf dem Weg zur Klimaneutralität: Direct Air Capture (DAC), eine Technologie, um CO₂ aus der Luft zu entfernen. Jülicher Forscher:innen haben erstmals für ganz Deutschland berechnet, wo sich Anlagen lohnen – und wo nicht. Ihre Studie zeigt: Standortwahl und Wetterbedingungen entscheiden maßgeblich über Effizienz und Kosten, da der Energiebedarf von DAC-Anlagen je nach Temperatur und Luftfeuchtigkeit enorm schwankt. Am wirtschaftlichsten seien Standorte im Norden Deutschlands, wo viel Windenergie verfügbar ist. Gleichzeitig betonen die Forscher:innen, dass DAC zwar eine wichtige Maßnahme sei, es aber das Zusammenspiel mit weiteren Klimaschutzmaßnahmen brauche, um den deutschen CO₂-Fußabdruck von derzeit rund 10 Tonnen pro Kopf zu neutralisieren.

- INSTITUTE OF CLIMATE AND ENERGY SYSTEMS -



HIRNFORSCHUNG

Unterschiede bei Schlafmangel

Zu wenig Schlaf ist ungesund und zeigt sich in unserem Gehirn. Allerdings macht es einen Unterschied, wie häufig man schlecht schläft. Das zeigt eine Analyse von 231 Gehirnstudien durch Jülicher Forscher:innen. Bei einem kurzfristigen Schlafdefizit – etwa nach einem langen Arbeitstag oder einer am Computer durchzockten Nacht – ist die für Temperaturregulierung, Bewegung und Schmerzempfinden zuständige Region betroffen. Bei chronischen Schlafstörungen verändern sich Regionen, die mit Erschöpfung, Gedächtnisstörungen und Stimmungsschwankungen zu tun haben. Allerdings ist es bei dem chronischen Schlafmangel unklar, ob die Veränderungen Ursache oder Folge der Störung sind.

- INSTITUT FÜR NEUROWISSENSCHAFTEN UND MEDIZIN -



NEUROWISSENSCHAFTEN

Exzellente Forschung

Für ihre Arbeiten über Gehirnentwicklung und psychiatrische Erkrankungen hat die Jülicher Neurowissenschaftlerin Dr. Casey Paquola den mit 25.000 Euro dotierten Förderpreis „For Women in Science“ 2025 erhalten. Sie ist eine von vier Wissenschaftlerinnen, die mit dem Preis in Deutschland ausgezeichnet wurden. Mit der Verleihung wollen das Unternehmen L'Oréal, die Deutsche UNESCO-Kommission und das Deutsche Humboldt-Netzwerk exzellente Nachwuchsforscherinnen fördern und sichtbar machen.

- INSTITUT FÜR NEUROWISSENSCHAFTEN UND MEDIZIN -

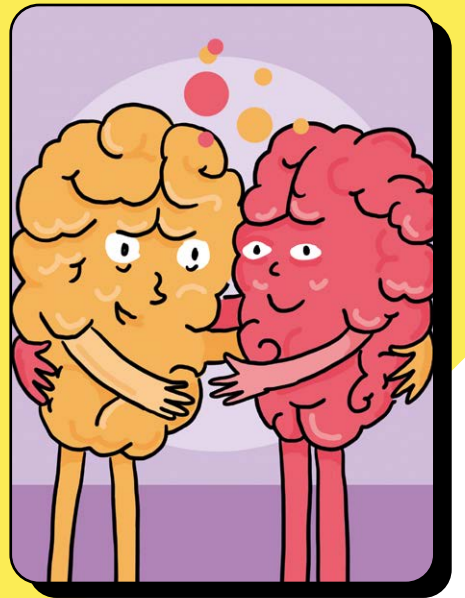
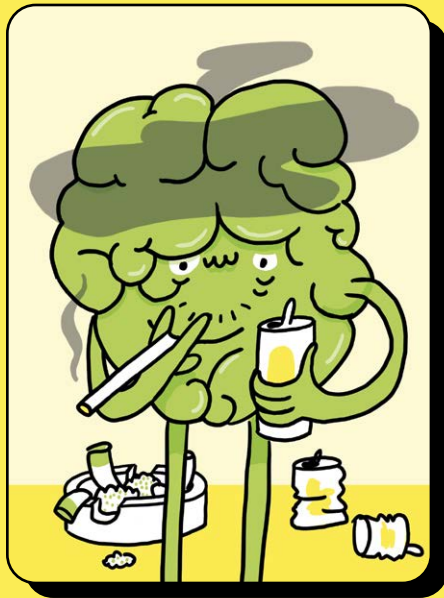
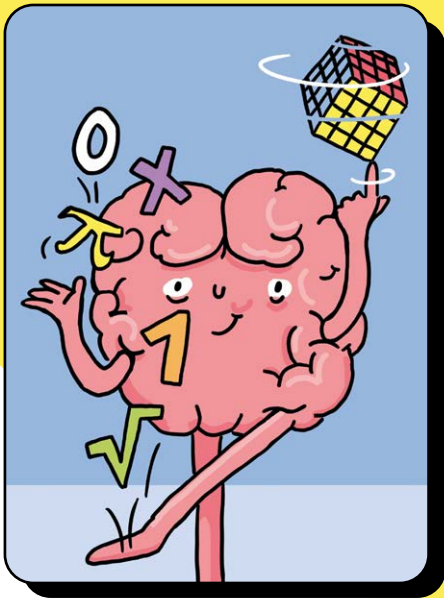
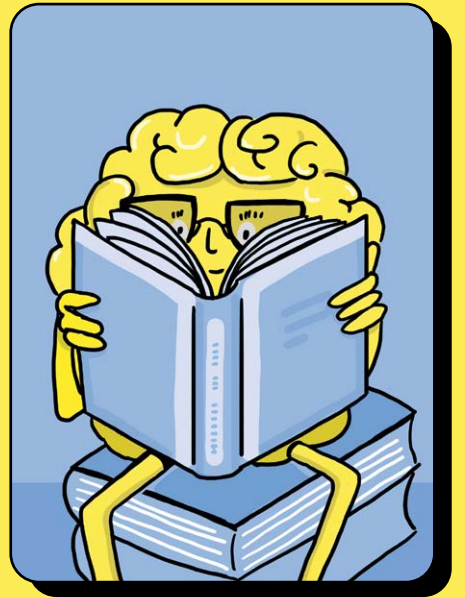
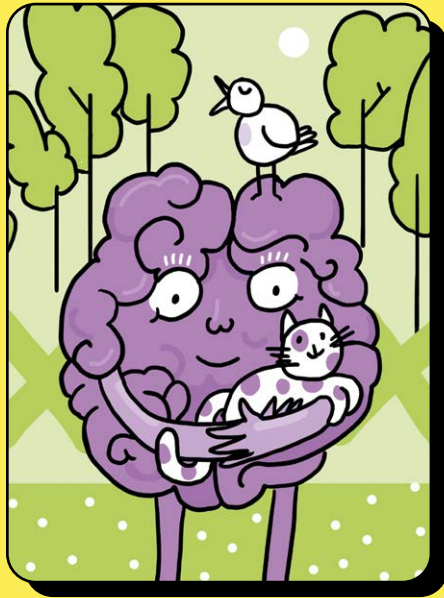
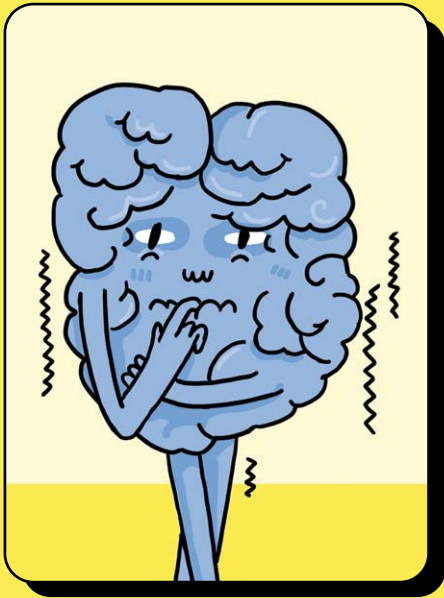
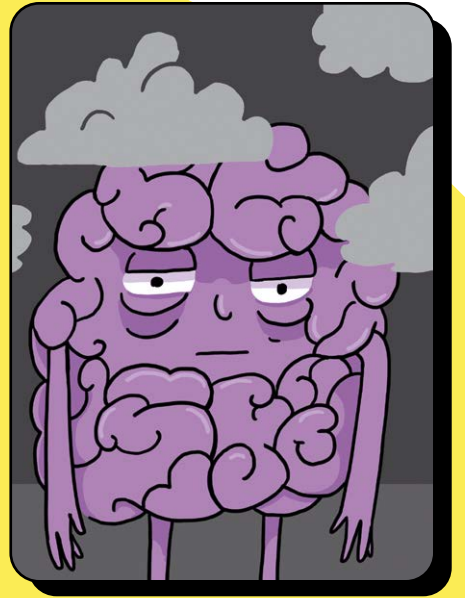
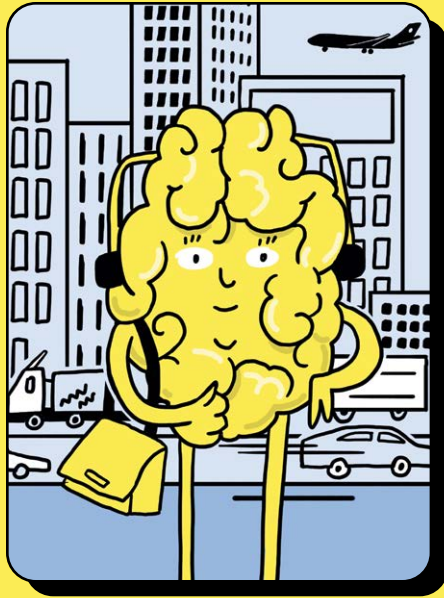
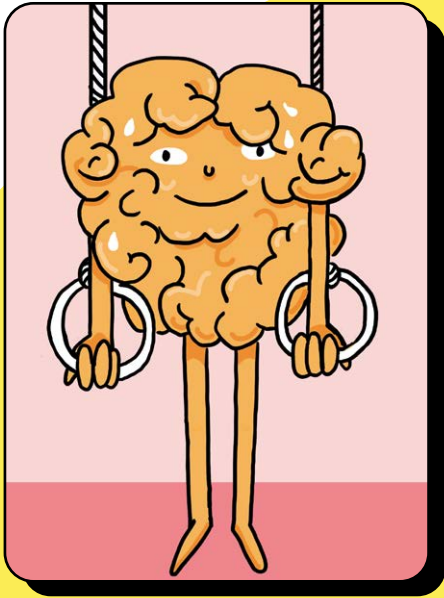
Blieben Sie auf dem Laufenden!

In unseren Jülich News gibt es monatlich Neuigkeiten aus dem Forschungszentrum per E-Mail. Jetzt Newsletter abonnieren!



go.fzj.de/effzett-newsletter





Jedes Hirn ein Unikat

Lassen sich persönliche Eigenschaften eines Menschen an seinem Gehirn ablesen? Das war lange unklar, auch weil passende Untersuchungsmethoden fehlten. Künstliche Intelligenz und Big Data eröffnen neue Möglichkeiten und haben einen Perspektivwechsel in der Hirnforschung eingeläutet.

Ein menschliches Gehirn ist etwa so groß wie ein Kopf Blumenkohl. In unserem Denkkapazität sind circa 86 Milliarden Nervenzellen über 100 Billionen Schnittstellen miteinander verschaltet. Beeindruckende Zahlen, aber sie spiegeln nicht die ganze Wahrheit wider. Denn es handelt sich bloß um Durchschnittswerte.

Jeder Mensch besitzt nämlich ein individuelles Gehirn, das ihn einzigartig macht. So wie sich Individuen auch in anderen Merkmalen und Eigenschaften voneinander unterscheiden: Manche haben große Ohren, andere kleine. Der eine ist ein untergesetzter Gefühlsmensch, die andere eine drahtige Sportskanone. Wie jeder Mensch ist auch jedes Gehirn ein unverwechselbares Einzelstück. Die Gehirnforschung lernt erst jetzt, die Unterschiede beim menschlichen Denkkorgan angemessen zu beschreiben und zu ergründen.

„Hier vollzieht sich gerade ein Perspektivwechsel. Wir fokussieren nicht mehr auf ein hypothetisches Durchschnittsgehirn, heute interessieren uns vielmehr die Unterschiede zwischen individuellen Gehirnen“, sagt Prof. Simon Eickhoff vom Institut für Neurowissenschaften und Medizin (INM-7). Sein Forschungsschwerpunkt: Er möchte aus der Gehirnstruktur einzelner Menschen auf deren ganz persönliche Eigenschaften schließen, aber auch auf Krankheiten wie Alzheimer, Schizophrenie oder ADHS. Und auf psychologische Kennwerte – wie etwa das Arbeitsgedächtnis, das räumliche Vorstellungsvermögen oder auch Persönlichkeitsmerkmale.

Schon seit rund 150 Jahren versucht die Forschung, die Eigenschaften eines Menschen mit der Anatomie seines Gehirns in Verbindung zu bringen. Aber erst in jüngster Zeit ist das überhaupt möglich geworden – durch Big-Data-Methoden und Maschinelles Lernen. Die Daten dafür stellt die moderne Bildgebung bereit, vor allem die Magnetresonanztomographie (MRT). Die Methode liefert detaillierte dreidimensionale Aufnahmen aus dem Inneren des Kopfs. Und mit der funktionellen MRT lässt sich sogar sichtbar machen, welche Hirnregionen gerade aktiv sind. So können die Forscher:innen dem Gehirn förmlich beim Arbeiten zusehen.

INDIVIDUELLE DATENMATRIX

„Aus den Gehirnschans bestimmen wir die relativen Größen oder Verbindungsprofile von einigen Hundert Gehirnregionen. Diese Werte unterscheiden sich von Mensch zu Mensch. Wir erhalten so je Proband:in eine individuelle Datenmatrix“, erklärt Simon Eickhoff. Hinzu kommen weitere Daten, zum Beispiel Diagnosen, die Schwere und Dauer einer Erkrankung oder eben Kennwerte der mentalen Leistungsfähigkeit.

„Früher war die Bildgebung aufwendig, teuer und noch nicht weit verbreitet. Man konnte sich daher nur auf kleine Gruppen von Probanden:innen stützen. Zehn bis 20 Personen, die beispielsweise unter Morbus Parkinson litten. Man suchte dann nach Unterschieden im Gehirn zwischen der Patient:innengruppe und einer gesunden Kontrollgruppe“, sagt der Mediziner. Doch die Zahl der Proband:innen war üblicherweise zu klein, um in

den Gehirnen der Betroffenen typische Veränderungen entdecken zu können.

Aber mittlerweile kann das Team um Simon Eickhoff durch die stärkere Verbreitung der MRT-Technologie auf Kohortenstudien zugreifen, an denen teilweise viele Tausende Proband:innen teilgenommen haben. Für jeden existieren Hunderte von Datenpunkten. Künstliche Intelligenz und Big Data erlauben es, diese riesigen Informationsmengen auszuwerten. Simon Eickhoff: „In den vergangenen zehn, 15 Jahren haben wir geradezu eine Explosion im Bereich des Maschinellen Lernens erlebt. Das hat auch der Gehirnforschung einen weiten Sprung nach vorne erlaubt.“

KI-Algorithmen helfen dem Team, die umfangreichen Datensätze nach relevanten Mustern zu durchsuchen. Nach komplexen Mustern, die dem menschlichen Auge oder sogar der klassischen Statistik verborgen geblieben wären. Mit jedem



↑ Simon Eickhoff ist Direktor des Instituts für Neurowissenschaften und Medizin (INM-7) sowie Direktor des Instituts für Systemische Neurowissenschaften an der Heinrich-Heine-Universität Düsseldorf.

weiteren Trainingsdatensatz kommen diese Muster immer deutlicher zum Vorschein. Und daraus lassen sich Vorhersagen für individuelle Patient:innen ableiten.

„Ziel unserer Arbeit ist es, mit dem trainierten Modell Aussagen über Patient:innen treffen zu können, deren Daten nicht ins Training eingeflossen sind. Wir können anhand des Gehirnschans eine Krankheit wie Parkinson diagnostizieren. Und vielleicht sogar eine Prognose über den zukünftigen Verlauf des Leidens abgeben“, sagt Eickhoff.

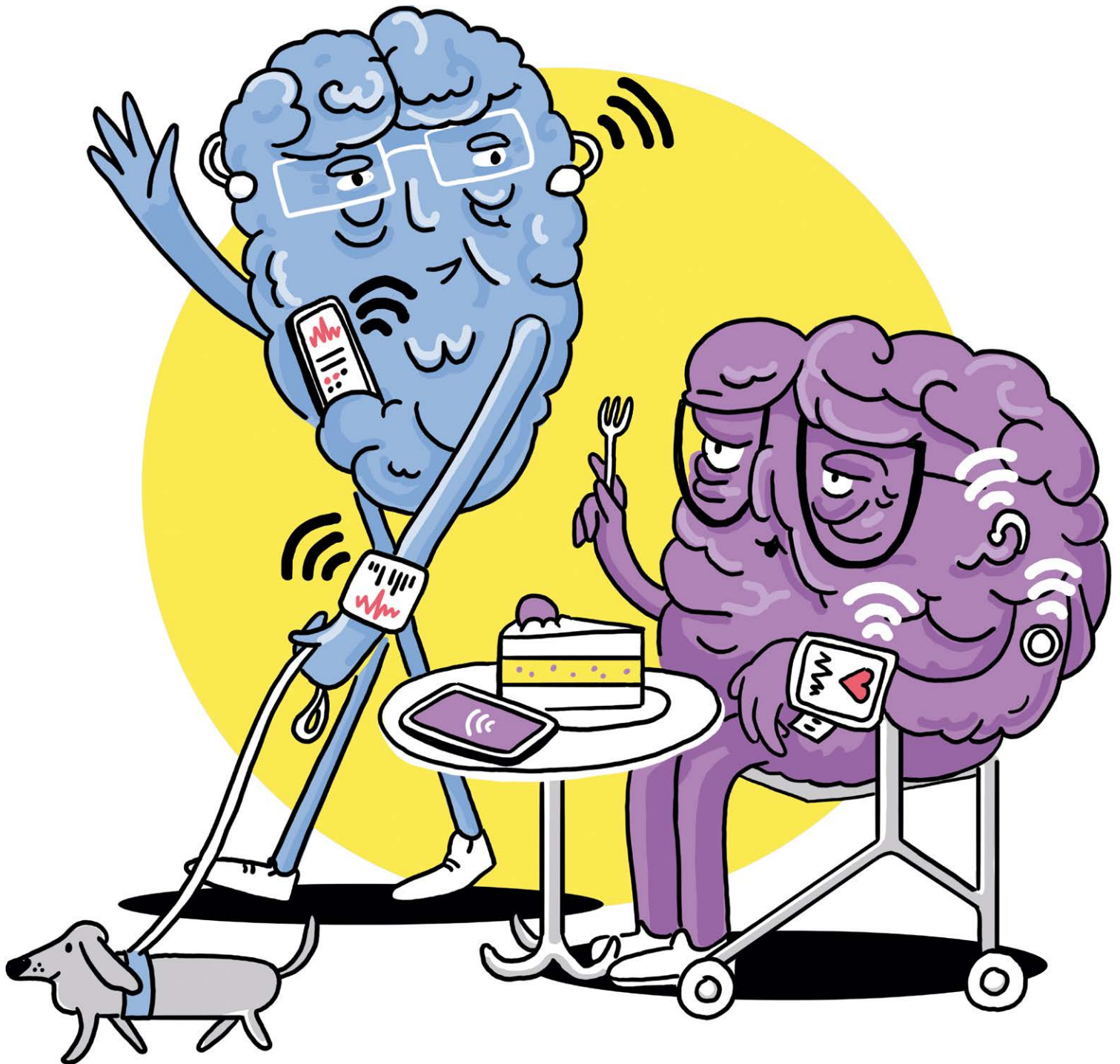
Nicht nur neurodegenerative Leiden wie Alzheimer und Parkinson lassen sich so aus Gehirnschans diagnostizieren. Ähnliches ist auch für eine Autismus-Spektrum-Störung oder ADHS möglich. Wer wegen Depressionen mit Antidepressiva behandelt wird, könnte von den intelligenten Algorithmen eine Einschätzung erhalten, ob es sicher ist, die Psychopharmaka abzusetzen – oder ob dann ein Rückfallrisiko droht.

EIN ZUSÄTZLICHES PUZZLESTÜCK

Wichtig ist: Es handelt sich dabei um eine Einschätzung basierend auf den in der Bildgebung beobachteten Mustern, keine hundertprozentig sichere Aussage. Für die psychiatrische Praxis ist das aber auch nicht unbedingt notwendig, argumentiert Simon Eickhoff: „Die KI liefert dem Arzt zusätzliche Informationen, aber sie entscheidet nicht alleine. Ihr Urteil ist nur ein Puzzlestück von vielen für die Diagnose.“

Wie zuverlässig das Modell zur richtigen Einschätzung kommt, hängt vor allem von der Menge und Güte der Trainingsdaten ab. „Um vernünftige Aussagen über Einzelfälle treffen zu können, muss der Algorithmus erst sehr viele Gehirne ‚ansehen‘. Er lernt so, aus den vielen kleinen Unterschieden diejenigen herauszufiltern, die tatsächlich wichtige Merkmale für Vorhersagen sind“, so Eickhoff.

Dabei müssen die Trainingsdaten nicht nur viele verschiedene Gehirnstrukturen umfassen, sondern auch beispielsweise ethnische Faktoren berücksichtigen. Tun sie das nicht, droht eine unbeabsichtigte Diskriminierung von Minderheiten. Das Team vom INM-7 hat das probenhalber mit US-amerikanischen Gehirnschans durchgespielt: Zunächst trainierte es den KI-Algorithmus ausschließlich mit Daten, die von einer einzigen, großen Bevölkerungsgruppe stammten. Anschließend ließ es die KI die Daten einer Minderheit



Mobile Health und Gehirnforschung

Für die Diagnose einer neurodegenerativen Krankheit wie Alzheimer oder Parkinson liefern MRT-Gehirnscans wertvolle Hinweise (siehe „Besserwissen“). Aber solche Aufnahmen sind aufwendig und teuer – und sie sind nur eine Momentaufnahme. Wearables wie Smartphones, Smartwatches und Fitnesstracker liefern zwar keine Gehirnscans, könnten aber ein nahezu kontinuierliches Monitoring von Patient:innen im Alltag ermöglichen. Ein Beispiel sind die Jülicher JTrack-Apps, die im Projekt ABCD-J für mobile Gesundheit in Nordrhein-Westfalen entwickelt hat.

Die Apps zeichnen engmaschig Daten zu Verhalten und Beeinträchtigungen der Patient:innen auf – in Form von Fragebögen oder über Sensordaten. So kann der Beschleunigungssensor des Smartphones zum Beispiel das Zittern des ausgestreckten Arms messen. Zittern kann ein erstes Anzeichen für Parkinson sein. Mithilfe Künstlicher Intelligenz lassen sich solche Informationen auswerten und so frühzeitig neurologische und psychiatrische Krankheiten erkennen.

„Um vernünftige Aussagen über Einzelfälle treffen zu können, muss der Algorithmus erst sehr viele Gehirne ‚ansehen‘.“

SIMON EICKHOFF

untersuchen. Schnell zeigte sich, dass das KI-Modell dabei diverse Verzerrungen und Fehler lieferte. Simon Eickhoff: „Decken Trainingsdaten nur einen Teil der Bevölkerung ab, besteht die Gefahr, dass das Modell nicht alle relevanten Faktoren erkennt. Man muss stets damit rechnen, dass Einflussfaktoren in unterschiedlichen Bevölkerungsgruppen anders ausgeprägt sind, im Extremfall sogar deutlich anders.“

LEBENSUMSTÄNDE BEACHTEN

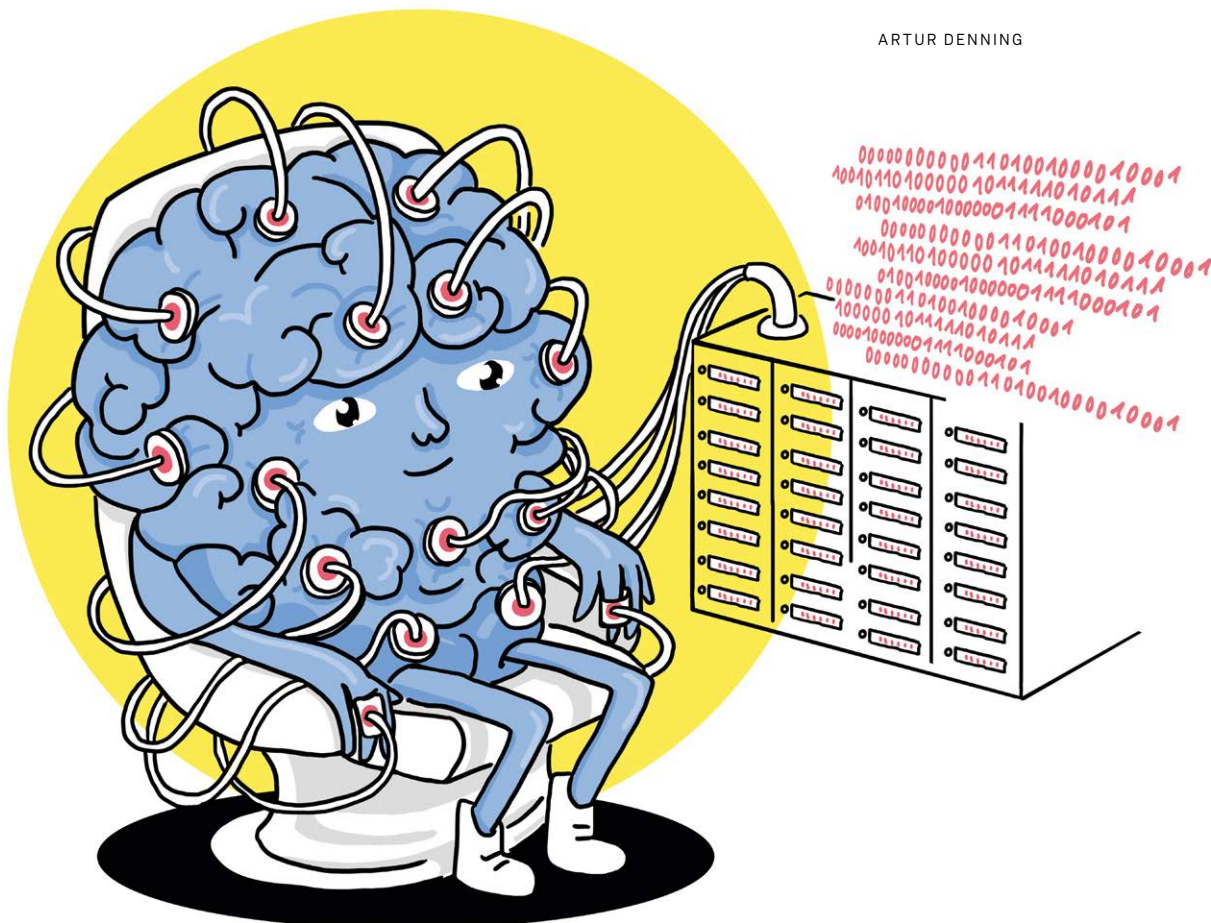
Eine besondere Herausforderung stellen für die Forscher:innen äußere Einflussfaktoren dar,

nämlich die individuellen Lebensumstände: Welchen sozioökonomischen Hintergrund besitzen die Proband:innen? In welcher Umgebung wohnen sie? Welchen Zugang zu Bildung haben sie? Welche sozialen Kontakte pflegen sie? Treiben sie Sport? Lesen sie viel? Haben sie im Lauf ihres Lebens traumatische Erfahrungen gemacht?

„Alle diese Faktoren hängen miteinander zusammen und alle haben einen Einfluss auf die Entwicklung unseres Gehirns – und damit auf die Dinge, die wir vorhersagen wollen: Veranlagungen zu Krankheiten, kognitive Fähigkeiten und Charaktereigenschaften. Wird das nicht ausreichend berücksichtigt, kann das KI-Modelle und damit die Ergebnisse verzerren“, sagt Simon Eickhoff.

Ein Ausweg könnte es sein, die KI-Modelle weiter zu verfeinern, indem sie nicht nur mit den eigentlichen Trainingsdaten gefüttert werden, sondern auch mit Vorinformationen zu den Proband:innen, etwa zum Geschlecht oder soziokulturellen Hintergrund. „Das ist für uns derzeit eine wichtige Forschungsfrage, in die wir noch sehr viel Arbeit werden investieren müssen“, so Eickhoff (siehe auch „Gehirne altern unterschiedlich“, S. 14).

ARTUR DENNING





MRT

MRT (Magnetresonanztomographie) erlaubt den Blick ins Körperinnere. Sie eignet sich für Gewebe, das viel Wasser enthält, etwa Herz und Hirn, und kann dort Entzündungen oder Tumore aufspüren.

SO FUNKTIONIERT ES ...

- 1 -

MRT-Geräte sind meist große, röhrenförmige Geräte. Elektrische Spulen in den Wänden erzeugen ein sehr starkes und mehrere kleine Magnetfelder.



- 2 -

Das starke Magnetfeld sorgt dafür, dass sich die Kerne der Wasserstoff-Atome im Körper alle gleich ausrichten - ähnlich wie Kompassnadeln.



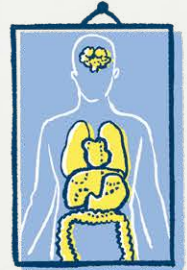
- 3 -

Mit Radiowellen wird diese Ordnung kurz durcheinander gebracht. Beim Wiederausrichten geben die Atomkerne elektromagnetische Signale ab.



- 4 -

Aus den Signalen generiert ein Computer Schritt für Schritt einzelne Querschnitte, die zusammengesetzt ein dreidimensionales Bild des Körperinneren ergeben.



DEM GEHIRN ZUSCHAUEN

Nicht nur Strukturen lassen sich erfassen. Die funktionelle MRT misst, wie sich die Durchblutung im Gehirngewebe verändert. Das zeigt, welche Hirnareale gerade aktiv sind.

JÜLICHER FORSCHER:INNEN

nutzen MRT vor allem, um Hirnstruktur und -funktion sowie Pflanzen zu untersuchen. Sie entwickeln auch neue Methoden und Techniken.

WARUM SO LAUT?

MRT-Geräte machen ordentlich Lärm. Das Klopfen und Hämmern kommt vom schnellen Schalten und Überlagern der Magnetfelder. Dabei vibrieren Spulen und Plastikteile.





Gehirne altern unterschiedlich

Mit den vielfältigen Einflussgrößen auf die individuelle Entwicklung des Gehirns beschäftigt sich Prof. Svenja Caspers (INM-1).

Sie geht der Frage nach, wie das menschliche Gehirn altert. Denn hier existieren gewaltige Unterschiede: „Wir möchten verstehen, warum

der eine Mensch mit 90 Jahren noch total fit im Kopf ist, während ein anderer schon mit 70 deutliche Einschränkungen zeigt.“

So wie ihr Kollege Simon Eickhoff verknüpft sie dafür neurobiologische Informationen mit anderen Eigenschaften. Und auch sie nutzt dazu

riesige Datensammlungen, etwa Ergebnisse der größten deutschen Langzeitstudie zur Erforschung von Volkskrankheiten (NAKO) oder der UK-Biobank. Am Forschungszentrum Jülich hat sie Daten im Rahmen der 1.000-Gehirne-Studie gesammelt. In dieser Kohortenstudie wurden rund 1.300 Menschen untersucht, die meisten im Alter zwischen 65 und 85 Jahren. Ihre Gehirndaten wurden ergänzt durch kognitive Tests, zum Beispiel zum Gedächtnis oder zur Aufmerksamkeit.

Hinzu kamen Gesundheitsdaten und Informationen zu den Lebensumständen, darunter Wohnort, Beruf, Exposition gegenüber Feinstaub, Alkohol- und Tabakkonsum. Insgesamt kamen rund 90 Terabyte zusammen, das entspricht etwa 90 Festplatten eines handelsüblichen Computers.

„Also tatsächlich Big Data“, sagt Svenja Caspers. „Mit einem einfachen Laptop bräuchte man Monate, um diese Daten zu bewältigen. Daher nutzen wir die Kapazitäten des Jülich Supercomputing Centre, hauptsächlich den Supercomputer JURECA. Da beanspruchen unsere Berechnungen bloß ein paar Stunden, maximal einen Tag.“

WAS SCHADET, WAS SCHÜTZT?

Auch hier helfen Methoden des maschinellen Lernens, in der Datenmasse Muster zu erkennen. Am Ende konnte der Algorithmus Faktoren identifizieren, die das Altern des Gehirns verlangsamen oder beschleunigen. Allerdings hat jeder Faktor einzeln betrachtet erstaunlich wenig Einfluss. Sei es der Feinstaub, der Alkoholkonsum oder das Rauchverhalten. „Aber wir sehen, dass kumulative Effekte auftreten“, sagt Svenja Caspers.

Heißt: Die Kombination mehrerer schädlicher Faktoren lässt das Gehirn schneller altern. Umgekehrt bleibt das Gehirn jung durch das Zusammenspiel schützender Einflüsse. Daraus lassen sich Empfehlungen ableiten. Bisher allerdings nur allgemeiner Natur, erklärt Svenja Caspers: „Wir bewegen uns auf dem Niveau von Gruppenkenntnissen. Das heißt, die Gruppe an sich zeigt eine Tendenz. Doch es gibt einzelne Ausreißer, also Datenpunkte, die nicht zu der Tendenz passen. Herauszufinden, was das für die Menschen hinter diesen Datenpunkten bedeutet, wird unsere nächste Aufgabe sein.“

Dafür wird das Forschungsteam zu einen die eingesetzten Methoden modifizieren. Svenja Caspers hofft, dass spezielle Deep-Learning-Algorithmen helfen könnten. Ein anderer Ansatz: Ein digitaler Zwilling des menschlichen Gehirns – ein vereinfachtes Modell, das die Netzwerkstruktur

des Denkkapparates abbildet und damit seine funktionellen Verknüpfungen simulieren kann. „An diesem Modell ließen sich dann die Parameter so lange anpassen, bis sie die Verhältnisse bei einem bestimmten Menschen widerspiegeln. Und dann wäre es tatsächlich möglich, auch individuelle Empfehlungen auszusprechen – warum der eine mehr Sport machen sollte oder die andere keinen Alkohol trinken, um das Gehirn jung zu halten“, so die Forscherin.

Und dann wäre auch hier der Perspektivwechsel in der Neuroforschung geschafft – vom Durchschnittsgehirn zum einzigartigen, individuellen Denkkorgan.

ARTUR DENNING



↑ Svenja Caspers leitet die Arbeitsgruppe Konnektivität am INM-1, zugleich ist sie Direktorin des Instituts für Anatomie I am Universitätsklinikum Düsseldorf.

Vom Hirnatlas zum personalisierten Modell

Prof. Katrin Amunts hat das EU-Flagship „Human Brain Project“ geleitet. Es hat die Grundlage für einen neuen Atlas des Gehirns und personalisierte Gehirnmodelle gelegt, die heute über EBRAINS verfügbar sind. Mit solchen Hirnmodellen lassen sich medizinische Behandlungen individuell planen. Ein Interview.



Die Gehirnforschung vollzieht gerade einen Perspektivwechsel: weg von der Beschreibung eines Durchschnittsgehirns hin zu individuellen Variationen. Wann hat dieser Trend begonnen?

Die Forschung ist sich der individuellen Unterschiede schon seit mehr als hundert Jahren bewusst und hat sie auch beschrieben: Variationen bei der Dicke der Hirnrinde, ihrer Faltung oder der Anordnung der Zellen. Man hat auch vermutet, dass diese Unterschiede für die Hirnfunktion oder Erkrankungen bedeutsam sind. Allerdings konnte man erst ab Ende der 1980er Jahre mithilfe der funktionellen Bildgebung dem Gehirn sozusagen „bei der Arbeit“ zusehen. Daraus ergaben sich eher grundsätzliche Fragen, etwa: Welche Gehirnregion steht mit einer bestimmten Funktion in Verbindung? Also: Wo wird etwas aktiviert, wenn ich den Finger bewege, und passiert das bei allen Menschen an der gleichen Stelle?

Nun unterscheiden sich alle Gehirne etwas voneinander in ihrem Bau und man hat solche natürliche Variabilität damals eher als ein störendes Rauschen angesehen. In der Medizin jedoch geht es um den individuellen Patienten, und so wurde das Konzept einer personalisierten Medizin etabliert. Das ist eine wichtige Entwicklung, zu der wir in den Neurowissenschaften beitragen. Das geschieht etwa, indem wir personalisierte Gehirnmodelle entwickeln.

Was ist ein Gehirnmodell überhaupt?

Es gibt verschiedene Arten von Gehirnmodellen – anatomische, biophysikalische, datengetriebene Modelle und andere. Einige Gehirnmodelle beschreiben die Vorgänge im Gehirn mathematisch, wie „The Virtual Brain“, das virtuelle Gehirn. Es wurde im Human Brain Project maßgeblich von Viktor Jirsa und seinem Team aus Marseille entwickelt und ermöglicht, bestimmte Prozesse im

↑ Katrin Amunts ist Direktorin des Instituts für Neurowissenschaften und Medizin (INM-1) sowie Direktorin des Cécile und Oskar Vogt-Instituts für Hirnforschung an der Heinrich-Heine-Universität Düsseldorf.

Gehirn zu simulieren. Es erlaubt, Parameter zu ändern; das virtuelle Gehirn lässt sich also personalisieren. Dazu fließen Befunde ein, etwa MRT-Bilder des Patienten, dessen elektrische Gehirnaktivitäten und Informationen über die Verbindungsstruktur. Das wird ergänzt durch Daten aus Hirnatlanten, die grundlegende Parameter wie Zelldichten liefern. Am Ende haben wir ein personalisiertes Modell mit spezifischen Patientendaten. Das zu erreichen, war ein großer Fortschritt.

Wofür kann solch ein personalisiertes Gehirnmodell benutzt werden?

In Frankreich wird gerade eine klinische Studie zu Epilepsie abgeschlossen. Die Betroffenen haben Krampfanfälle, die von bestimmten individuellen Gehirnregionen ausgehen. Diese Bereiche können operativ entfernt werden. Dabei ist es wichtig, möglichst genau zu bestimmen, wo sie liegen. Aus den Daten über die jeweilige elektrische Gehirnaktivität und -struktur haben die Kolleg:innen für jeden Patienten ein personalisiertes Modell entwickelt. Es ermöglicht, individuell zu berechnen, an welcher Stelle wie viel Gewebe entnommen werden muss, um die Krampfanfälle zu stoppen, ohne Schäden zu verursachen. Die Kolleg:innen arbeiten daran, solche Modelle aussagekräftiger, individueller und passgenauer zu machen und auf andere Bereiche zu übertragen.

Sie haben die Hirnatlanten erwähnt, die in die personalisierten Modelle einfließen. Welche Informationen liefern die Atlanten?

Unser Hirnatlas beschreibt, wie groß die Wahrscheinlichkeit ist, ein bestimmtes Areal an einer vorgegebenen Stelle im Gehirn zu finden. Er berücksichtigt die Unterschiede in der Anatomie, das heißt die Variabilität des Gehirns. Wir haben Anfang der 1990er Jahre hier am Institut und an der Universität Düsseldorf begonnen, diesen Atlas zu entwickeln. Dazu wurden hauchdünne Schnitte von Gehirnen von Körperspendern angefertigt und gefärbt, um die Zellkörper unter dem Mikroskop sichtbar zu machen. Anschließend haben wir die Schnitte digitalisiert, daraus am Rechner jedes Hirn in 3D rekonstruiert und einzelne Hirnareale mithilfe statistischer Verfahren kartiert. Aus den übereinandergelegten individuellen Karten entstehen dann Wahrscheinlichkeitskarten – die Grundlage für den Jülich Brain Atlas, der zum ersten Mal Variabilität so räumlich festmacht. Er ist etwas, was es in dieser Auflösung, Detailtreue und auch in diesem Umfang nur in Jülich gibt. Gleichzeitig ist er Kernstück der digitalen Forschungsinfrastruktur EBRAINS – ein Ergebnis des Human Brain Project.



Wie kann die weltweite Community auf diese Daten und Werkzeuge zugreifen?

Das ist über EBRAINS möglich. Wissenschaftler:innen weltweit können über die Plattform auf Daten und digitale Werkzeuge für die Neurowissenschaften zugreifen. Sie können den Atlas nutzen, um ihre eigenen Fragestellungen zu lösen – ob es dabei um Grundlagenforschung, Kognitionsforschung oder medizinische Fragen geht. Wir haben stets Wert darauf gelegt, dass Werkzeuge und Daten einfach zugänglich sind und im Sinne von FAIR Data genutzt werden können. Und das geschieht nun auch zunehmend.

Anfang September wurde mit JUPITER Europas erster Exascale-Rechner in Jülich in Betrieb genommen. Wie kann die Gehirnforschung von diesem einzigartigen Supercomputer profitieren?

Wir entwickeln gerade „brainfm“, ein sogenanntes Foundation Model eines menschlichen Gehirns auf der zellulären Ebene. „brainfm“ wird deutlich leistungsstärker sein als herkömmliche KI-Modelle. Es soll künftig in der Grundlagenforschung, aber auch in der personalisierten Medizin, eingesetzt werden. Das Modell repräsentiert circa 86 Milliarden Nervenzellen und eine ähnlich große Zahl sogenannter Gliazellen, die die Neuronen unterstützen. Und es besitzt eine Auflösung im 1-Mikrometerbereich – also ein Tausendstel Millimeter. Damit umfasst das Modell zwei bis drei Petabyte an Daten – eine riesige Menge. Um solch ein Modell berechnen zu können, braucht es JUPITER. Wir sind sehr froh, dass „brainfm“ zu den ersten 18 Software-Codes gehört, die auf JUPITER laufen. Das hilft uns, zügig in der Forschung voranzukommen.

„Wir haben stets Wert darauf gelegt, dass Werkzeuge und Daten einfach zugänglich sind und im Sinne von FAIR Data genutzt werden können.“

KATRIN AMUNTS

Erst andocken, dann wegputzen

Für manche Drecksarbeit hat das Meer eigene Putztruppen – etwa *Alcanivorax borkumensis* – ein Bakterium, das Erdöl abbaut. Um an das Öl zu kommen, produziert es einen Stoff, der von Spülmitteln bestens bekannt ist: ein Tensid.



Brückenbauer

Tenside bauen eine Brücke zwischen Wasser und Öl, die sich normalerweise kaum vermischen. Das funktioniert, weil Tenside aus einem öl- und einem wasserliebenden Anteil bestehen. In Spülmitteln wird diese Eigenschaft genutzt, um Schmutz zu lösen: Der ölliebende Teil der Tenside lagert sich an Öl und Fett an und umschließt diese. Dadurch hebt sich der Schmutz vom Geschirr ab und kann mithilfe des wasserliebenden Anteils vom Spülwasser aufgenommen und weggespült werden. Ähnlich nutzt *Alcanivorax borkumensis* sein Bio-Tensid. Wenn Erdöl vorhanden ist, produzieren die Bakterien vermehrt das Biotensid und lagern es mit der wasserliebenden Seite an der Zelloberfläche ab. Über den ölliebenden Teil des Biotensids kommen sie in Kontakt mit dem Öl und bauen es ab.

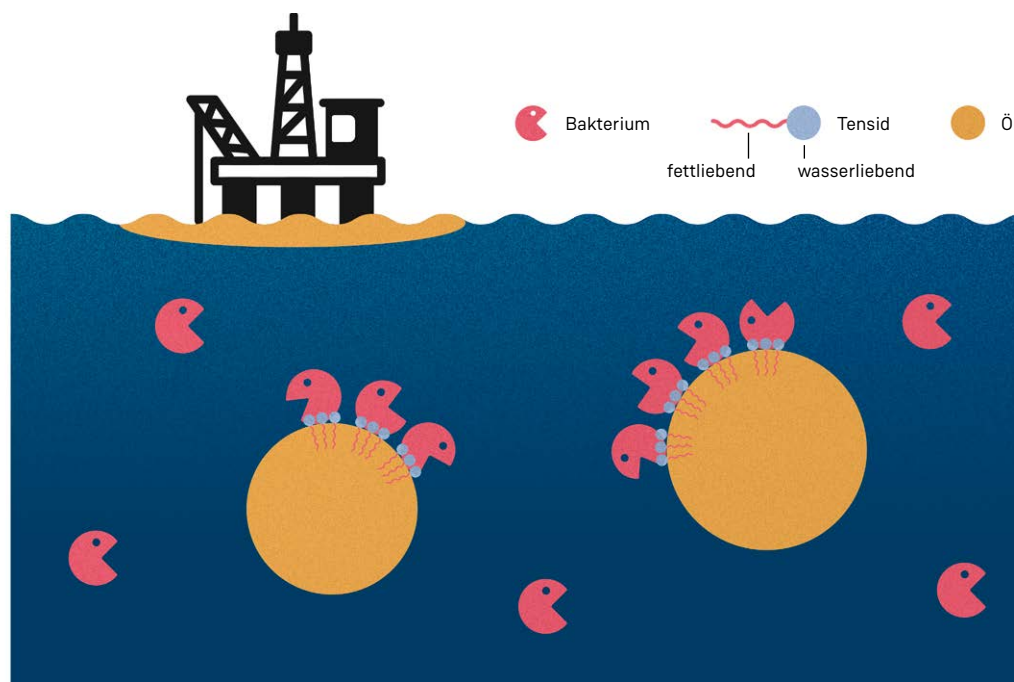
Im Jahr 1998 entdeckten deutsche Forscher auf der Nordseeinsel Borkum einen ungewöhnlichen Meeresbewohner: Das später *Alcanivorax borkumensis* getaufte Bakterium ernährt sich von Alkanen. Das sind Kohlenwasserstoffketten, die sich in großen Mengen in Erdöl finden. Wird Erdöl freigesetzt – etwa nach Tankerunfällen oder durch natürliche Quellen – vermehrt sich das Bakterium rasant und hilft maßgeblich, Erdölverschmutzungen zu beseitigen.

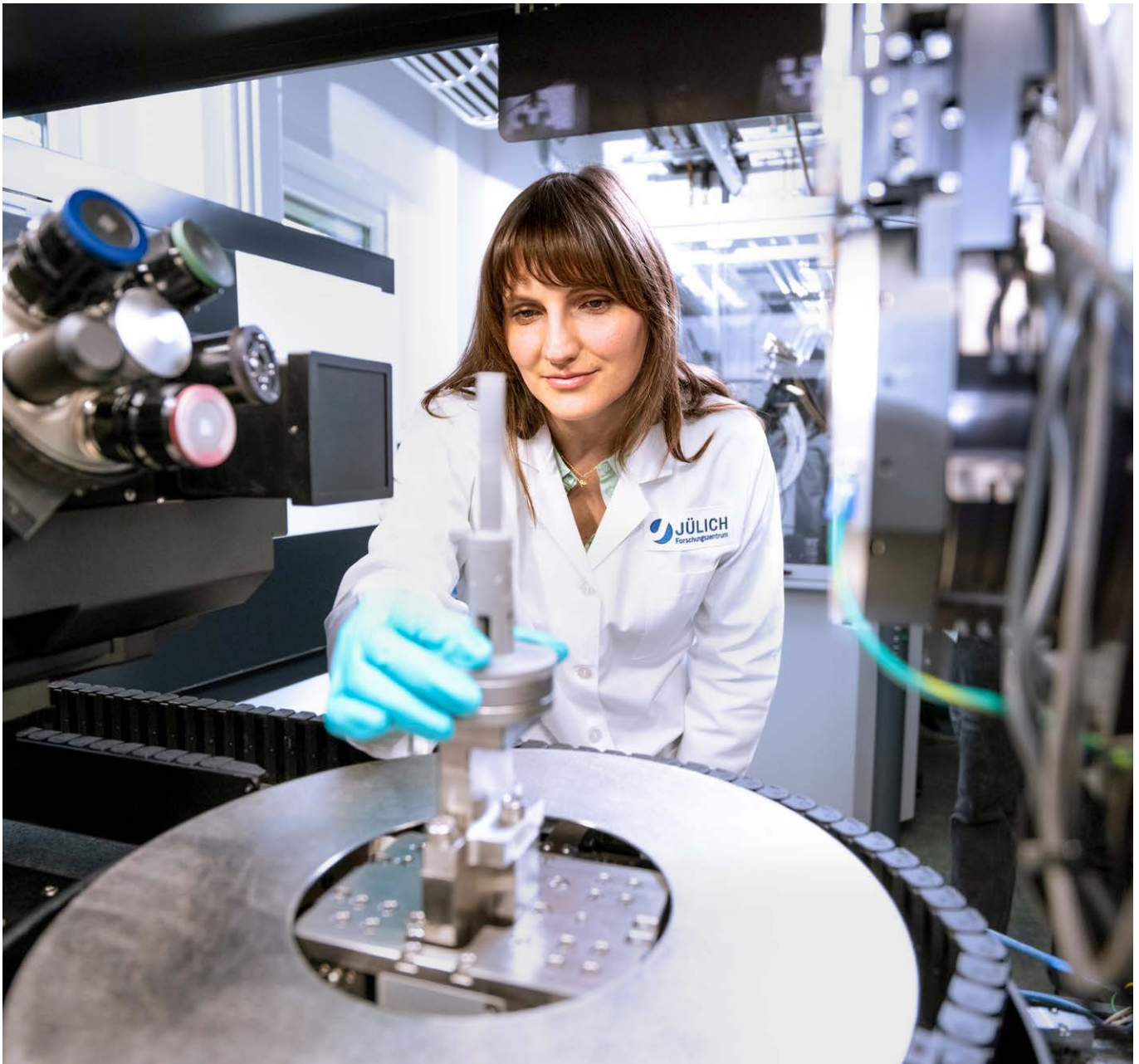
Dafür produziert *Alcanivorax borkumensis* ein spezielles Hilfsmittel: ein Biotensid (siehe Infotext „Brückenbauer“). „Es ermöglicht den Bakterien, sich auf den Öltröpfchen festzusetzen. Sie bilden dort einen Biofilm und beginnen mit dem Zersetzen des Tröpfchens“, erläutert Dr. Stephan Thies vom Institut für Bio- und Geowissenschaften (IBG-1).

Bislang war es allerdings unklar, wie die Bakterien ihr Hilfsmittel herstellen. Wissenschaftler:innen der Universitäten Bonn und Düsseldorf sowie der RWTH Aachen und des Forschungszentrums Jülich haben nun drei Enzyme identifiziert, die das Biotensid Schritt für Schritt zusammenbauen. Den in der Studie federführenden Forscher:innen in Bonn gelang es sogar, die entsprechenden Gene in ein anderes Bakterium zu transferieren, das dann ebenfalls das Biotensid herstellte.

„Die Erkenntnisse könnten dazu beitragen, den Abbau von Ölverschmutzungen mithilfe von effektiveren Bakterienstämmen zu verbessern“, so Prof. Karl-Erich Jaeger, der in Jülich und Düsseldorf forscht. Das natürliche Tensid könne möglicherweise auch petrochemisch hergestellte Tenside ersetzen.

REGINE PANKNIN





Woran forschen Sie gerade, Frau Heume?

Christine Heume, Doktorandin am Institute of Energy Technologies, IET-1: Grundlagen der Elektrochemie

„Ich schaue mir an, wie Elektrolyseure altern. Mit diesen Geräten lässt sich aus Wasser und Strom Wasserstoff herstellen. Der Energieträger ist ein wichtiger Baustein der Energiewende und zugleich ein zentraler Rohstoff der chemischen Industrie. Im Laufe der Zeit lässt die Leistung der Elektrolyseure nach. Um die Ursache zu finden, blicke ich mit Methoden wie etwa hier der Computertomographie in deren Herzstück: die Membran-Elektroden-Einheit.

Einen ungewöhnlichen Alterungsprozess haben wir bereits entdeckt.

Wir müssen nun herausfinden, wie er entsteht – und sich vermeiden lässt.“

Mehr zur Forschung von Christine Heume und ihrer Abteilungsleiterin Dr. Eva Jodat im Video:
go.fzj.de/effzett-Heume

Gegen den Knoten im Kopf

Verändert sich die Struktur des Proteins DISC1 im Gehirn, kann das psychische Erkrankungen wie Schizophrenie auslösen. Jülicher Forscher:innen haben den Umstrukturierungsprozess analysiert und einen Ansatz entwickelt, um ihn zu verhindern.

Normalerweise fungiert das Protein mit dem Namen DISC1 – kurz für Disrupted in Schizophrenia 1 – als molekulares Gerüst im Gehirn. Es sorgt dafür, dass andere Proteine ihre Aufgaben im Zellwachstum und in der neuronalen Entwicklung korrekt erfüllen. „DISC1 ist ein echter Schlüsselfaktor der Hirnentwicklung, insbesondere in der frühen Lebensphase. Doch wenn sich das Protein krankhaft verändert, verklumpt es und kann seine Funktion im Gehirn nicht mehr erfüllen“, sagt Dr. Abhishek Cukkemane vom Institut für Biologische Informationsprozesse (IBI-7).

Die Folge: Das komplexe Zusammenspiel von Proteinen im Gehirn gerät aus dem Gleichgewicht. Und nicht nur das, die Veränderungen gelten als Risikofaktor für psychische Erkrankungen wie Schizophrenie, bipolare Störung oder schwere Depression.

23

Millionen

Menschen sind laut Schätzung der Weltgesundheitsorganisation (WHO) von Schizophrenie betroffen. Sie durchleben immer wieder Phasen, in denen sie die Welt anders wahrnehmen als gewöhnlich. Dann hören sie zum Beispiel Stimmen oder haben das Gefühl, dass jemand versucht, sie zu kontrollieren oder ihnen zu schaden.

Cukkemane und seine Arbeitsgruppe „Towards understanding the molecular pathomechanisms of schizophrenia“ haben den Umstrukturierungsprozess des Proteins mithilfe verschiedener Methoden aus der Biophysik, Biochemie und Strukturbiologie untersucht. Erstmals konnten sie unterschiedliche Formen des Proteins im Detail darstellen. Dabei fanden sie heraus, dass bestimmte Mutationen in einer teilweise flexiblen Region von DISC1 – der sogenannten C-Region – das Verklumpen des Proteins verursachen. „Die C-Region ist grundsätzlich vorteilhaft, weil das Protein dadurch vielseitige Funktionen erfüllen kann. Aber sie macht es auch anfällig für strukturelle Fehlbildungen“, hebt der Jülicher Forscher hervor.

Bei Fehlbildungen entstehen faserartige Strukturen, sogenannte Aggregate – die an verknotete Schnüre erinnern – und die normale Zellfunktion

Nachahmer

Manchmal ist es hilfreich, andere zu imitieren. Das gilt nicht nur für Tiere oder Pflanzen, sondern auch in der Welt der Chemie. Wirkstoffe, die Struktur oder Funktion einer körpereigenen Substanz nachahmen, heißen in der Pharmakologie Mimetika. Peptid-Mimetika sind maßgeschneiderte chemische Verbindungen, die natürlichen Peptiden ähneln, die beispielsweise im Körper den Stoffwechsel regulieren. Gegenüber ihren Vorbildern haben die Mimetika den Vorteil, dass sie besser aufgenommen werden oder wirksamer sind. Bekannte Peptid-Mimetika sind zum Beispiel ACE-Hemmer, die den Blutdruck senken. Das natürliche Vorbild – ein Schlangengift – wird im Körper zu schnell abgebaut, um ausreichend zu wirken.



stören. Dies kann die Entwicklung und Kommunikation der Nervenzellen stören und insbesondere für das sich noch entwickelnde Nervensystem von Kindern gravierende Folgen haben.

MASSGESCHNEIDERTE MOLEKÜLE

Nachdem die Wissenschaftler:innen die biologischen Grundlagen entschlüsselt hatten, begannen sie nach einem Weg zu suchen, mit dem sich der krankhafte Umstrukturierungsprozess verhindern lässt. Dazu entwickelten sie sogenannte Peptid-Mimetika – kleine, maßgeschneiderte Moleküle, die die wesentlichen Merkmale natürlich bindender Peptide nachbilden (siehe Kasten). Auf diese Weise können die Moleküle mit biologischen Zielstrukturen wie DISC1 interagieren.

In Laborexperimenten gelang es, mit diesen Wirkstoffen die krankhafte Verklumpung des Proteins erfolgreich zu verhindern und so dessen normale Funktion zu erhalten. „Damit haben wir nicht nur einen potenziellen Arzneimittelkandidaten gefunden. Es könnte erstmals ein therapeutischer Ansatz vorliegen, der direkt auf



„Es könnte erstmals ein therapeutischer Ansatz vorliegen, der direkt auf die molekulare Ursache psychischer Erkrankungen abzielt.“

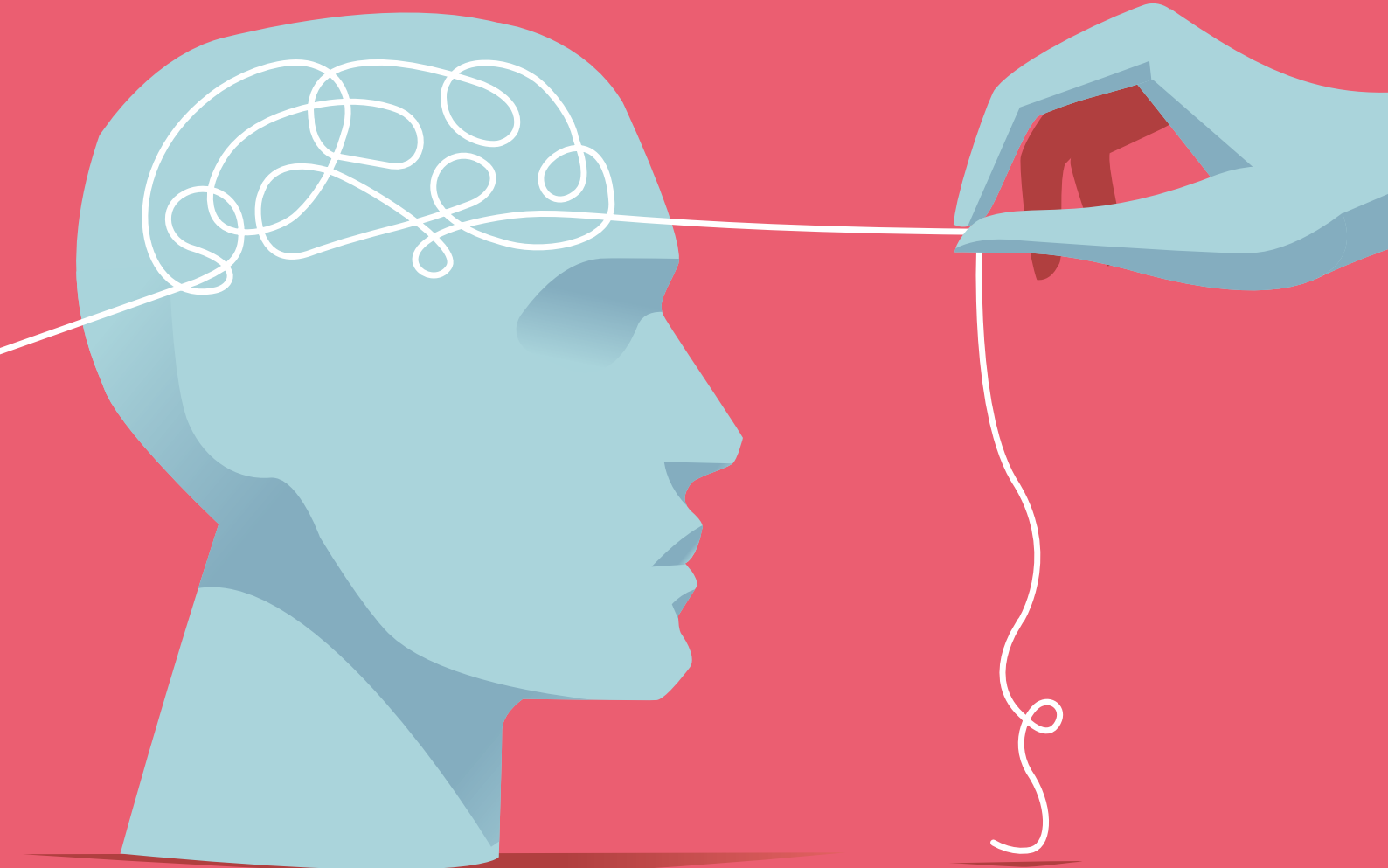
ABHISHEK CUKKEMANE

die molekulare Ursache bestimmter psychischer Erkrankungen abzielt – statt lediglich deren Symptome zu behandeln“, betont Cukkemane.

Die Jülicher Wissenschaftler:innen haben bereits einen Patentantrag für die Wirkstoffe gestellt. Die nächsten Schritte bestehen darin, sie zunächst in Zellkulturen und später in Tiermodellen zu testen. Langfristiges Ziel ist es, klinische Studien zu ermöglichen und so neue, ursachenorientierte Therapien für psychische Erkrankungen zu entwickeln.

Auch wenn bis zu einer klinischen Anwendung noch einige Hürden zu überwinden sind, zeigt sich aus Sicht von Cukkemane der Wert der Grundlagenforschung: „Die Ergebnisse liefern eine klare medizinisch-biologische Erklärung für Prozesse, die lange Zeit kaum greifbar waren – und leisten damit einen wichtigen Beitrag zur Entstigmatisierung psychischer Erkrankungen“, so der Strukturbiologe.

ANNA TIPPING



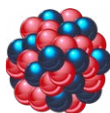


Brillantes Konzept gegen Neutronenmangel

Eine innovative Quelle für Neutronen, entworfen von Jülicher Wissenschaftler:innen, hat es auf die Shortlist des Bundesförderprogramms für große Forschungsinfrastrukturen geschafft.

Sie verraten, wo sich Atome, Moleküle und innere Magnetfelder befinden und wie sie sich bewegen. Die Rede ist von Neutronen – kleinste Teilchen, die aus Atomkernen stammen und tief in die Mikro- und Nanowelt der Materie vordringen. Als winzige Sonden liefern sie wichtige Informationen, um Materialeigenschaften an verschiedenste Anforderungen anzupassen und neue Stoffe zu entwickeln. So helfen sie, etwa Batterien und Wasserstoffspeicher für den Übergang zu einer klimaneutralen Wirtschaft zu entwickeln oder Medikamente zur Behandlung von Krebs oder Alzheimer.

Um Neutronen freizusetzen, muss die starke Kraft überwunden werden, die Neutronen und Protonen in



Atomkernen zusammenhält. Bisher geschieht das hauptsächlich mit zwei Methoden: Spaltung der Atomkerne in Forschungsreaktoren oder Spallation in riesigen Anlagen. Bei der Spallation trifft ein Protonenstrahl mit nahezu Lichtgeschwindigkeit auf einen Schwermetallblock, das Target (engl. Zielscheibe), und schlägt so Neutronen heraus.

Doch die bestehenden großen Quellen genügen nicht, um den Bedarf der Forschung mit Neutronen zu decken. „Manchmal müssen Forschende aus Deutschland, auch solche aus Jülich, mit ihren Proben nach Australien fliegen, um dort Messungen durchzuführen, weil sie sonst nirgendwo Messzeit bekommen“, berichtet Dr. Paul Zakalek vom Jülich Centre for Neutron Science.

← Paul Zakalek hat wesentlich zur Entwicklung der High Brilliance neutron Source (HBS) beigetragen und koordiniert das Projekt HBS-I.

Zwei Dutzend kleinere Anlagen weltweit ändern wenig an dem Neutronenmangel. Denn diese kompakten Anlagen erzeugen nur einen sehr schwachen Neutronenstrahl, der für viele Forschungsfragen nicht ausreicht. Zudem stehen sie jeweils nur wenigen Forschenden der betreibenden Institution zur Verfügung.

„Manchmal müssen Forschende aus Deutschland mit ihren Proben nach Australien fliegen, um dort Messungen durchzuführen.“

PAUL ZAKALEK

Jülicher Wissenschaftler:innen schlagen daher den Bau einer von ihnen entworfenen neuartigen Quelle vor, der High Brilliance neutron Source (HBS). Sie soll Universitäten, Forschungseinrichtungen und der Industrie offenstehen und in der ersten Ausbaustufe (HBS-I) fünf verschiedene Neutroneninstrumente für Messungen anbieten. Im Vergleich zu den herkömmlichen kompakten Anlagen treffen bei der HBS-I 10- bis 100-mal mehr beschleunigte Protonen gleichzeitig auf das Target. Ihr Strahl ist besonders hell und wird daher als brillant bezeichnet.

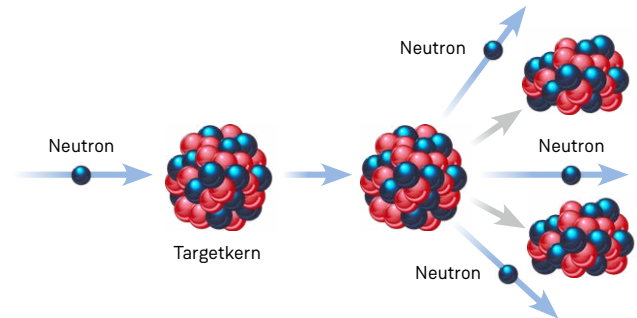
Entscheidend ist, dass Jülicher Forscher:innen neue, stabilere Targets entwickelt haben: Diese halten der enormen Wärmebelastung stand, die beim Auftreffen der Protonen entsteht. Zudem bekommen die neuen Targets durch den Beschuss nur langsam Risse und werden nicht so schnell spröde.

„Alle neuartigen Bauteile der HBS-I wurden bereits als Prototypen realisiert und getestet“, betont Dr. Paul Zakalek, Koordinator des Projekts HBS-I, an dem neben Jülich das Helmholtz-Zentrum Hereon beteiligt ist. Die Aufnahme des HBS-I Projekts auf die Shortlist des Bundesförderprogramms für große Forschungsinfrastrukturen zeigt das nationale Interesse und ebnet den Weg zu seiner Realisierung.

FRANK FRICK

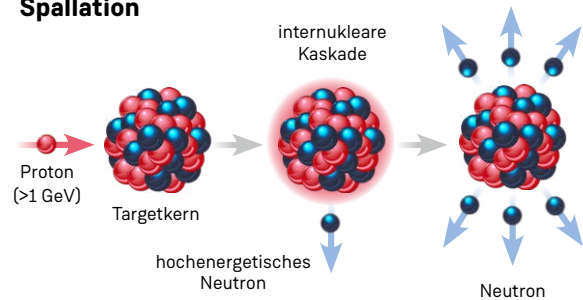
Neutronenerzeugung

Kernspaltung in Forschungsreaktoren



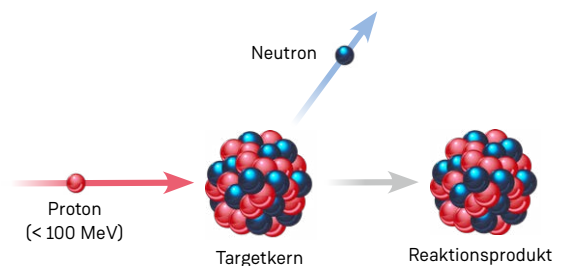
Ein langsames Neutron trifft auf Uran 235. Es entsteht Uran 236, das instabil ist und zerfällt: in zwei mittelschwere Atomkerne und zwei bis drei freie Neutronen. Diese Neutronen können – wenn man sie abbremst („moderiert“) – weitere Spaltungen von Uran 235 auslösen. Es kommt zu einer Kettenreaktion, die den Neutronenfluss aufrechterhält.

Spallation



Treffen schnelle Protonen (Energien im Gigaelektronenvoltbereich GeV) auf ein Target aus Blei oder Wolfram, so werden dessen Atomkerne energetisch aufgeheizt (internukleare Kaskade). Jeder Atomkern dampft dann 20 bis 30 Neutronen ab. Diese lösen keine weitere Spallation aus, also auch keine Kettenreaktion.

Kernprozess in herkömmlichen kompakten Anlagen



Protonen mit maximal 40 Prozent der Lichtgeschwindigkeit (Energien im Megaelektronenvoltbereich MeV) treffen auf das Target. Das erzeugt einzelne Neutronen.

In der HBS-I treffen 10- bis 100-mal mehr Protonen auf das Target als in herkömmlichen Anlagen. Die HBS produziert daher auch 10- bis 100-mal mehr Neutronen.



Warum Prof. Mirijam Zobel für ihre Forschung Neutronen braucht und sich für eine neuartige Neutronenquelle starkmacht

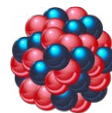
Sie haben nach Ihrem Studium des Chemie- und Bioingenieurwesens bei Ihrer Forschung hauptsächlich Röntgenstrahlen eingesetzt. Warum engagieren Sie sich als Vorsitzende des Komitees für Forschung mit Neutronen?

Mirijam Zobel: Nach meiner Promotion stellte ich fest, dass Neutronen Einblicke in Materialien und Prozesse bieten, die weder Röntgenstrahlung noch spektroskopische Methoden liefern können. Neutronen sind in vielen Fachgebieten unverzichtbar – auch in meiner Forschung. So erforschen wir an der RWTH Aachen, wie sich Wassermoleküle auf den Oberflächen von Nanopartikeln bewegen. Diese Bewegungen beeinflussen die Eigenschaften und das Verhalten der Nanomaterialien. Ohne Neutronen können wir das nicht untersuchen. Doch die Messmöglichkeiten sind stark begrenzt, weil es zu wenige Neutronenquellen gibt. Also habe ich mich entschieden, auch forschungspolitisch aktiv zu werden, um diese unbefriedigende Situation zu ändern.

In Jülich leiten Sie ein Institut, das Neutronen für die Energieforschung einsetzt. Welche besonderen Eigenschaften von Neutronen nutzt Ihr Team dabei aus?

Neutronen machen leichte Elemente wie Lithium und Wasserstoff sowie deren Bewegungen besonders gut sichtbar. Wir benötigen sie, um beispielsweise Lithium in Batterien oder Wasserstoff in Brennstoffzellen zu beobachten. Gerade mit Blick auf eine künftige Wasserstoffwirtschaft gibt es sehr viele Materialien, für deren Untersuchung wir auf Neutronen angewiesen sind.

In Schweden entsteht gerade mit der European Spallation Source (ESS) die weltweit leistungsstärkste Neutronenquelle. Kann sie den Neutronenmangel beheben?



Nein. Die ESS ist eine Spitzenanlage für Forschung, die an keiner anderen Neutronenquelle möglich ist.

Forscher:innen aus Deutschland werden nur sehr wenige Messmöglichkeiten bekommen, weil sie mit Wissenschaftler:innen und Wissenschaftlern aus Europa und der Welt um die knappe Messzeit konkurrieren. Wir brauchen zusätzlich nationale Neutronenquellen, um die vielfältigen wissenschaftlichen Fragestellungen aus Wissenschaft und Industrie beantworten zu können.

Sie wollen den Neutronenmangel nicht durch den Bau herkömmlicher Quellen beheben, sondern setzen auf die neuartige High Brilliance neutron Source I (HBS-I). Warum?

An der HBS-I lässt sich ein besonders großer Anteil der erzeugten Neutronen für Experimente nutzen. Das ermöglicht eine kompakte Bauweise und vergleichsweise geringe Investitions- und Betriebskosten. Anders als Forschungsreaktoren kommt die HBS-I ohne nukleare Brennstoffe aus. Das erleichtert auch den Zugang zu den Messinstrumenten – wichtig insbesondere für die Industrie. Aufgrund des modularen Aufbaus der HBS-I lassen sich bei Wartungs- und Reparaturarbeiten einzelne Teile austauschen, ohne den Betrieb lange zu unterbrechen. Hinzu kommt, dass der besonders schmale Neutronenstrahl es erlaubt, bereits sehr kleine Probemengen zu untersuchen.

DIE FRAGEN STELLTE FRANK FRICK.

Zahlen zur HBS-I

1.000

Quadratmeter groß

35

Meter langer
Linearbeschleuniger

5

Jahre veranschlagte
Bauzeit

↑ Mirijam Zobel ist Direktorin des Jülich Centre for Neutron Science (JCNS-3) und Lehrstuhlinhaberin für Kristallographie an der RWTH Aachen.



Mehr Informationen:
hbs.fz-juelich.de/de





← Theresia Heiden-Hecht möchte mithilfe von pflanzlichen Proteinen – etwa von Blättern der Luzerne – nachhaltige und gesunde Lebensmittel ermöglichen.

Nachhaltige Milch-Alternativen

Haferdrinks sind nicht nur eine gute Alternative für Menschen, die Laktose nicht vertragen. Die Produktion eines Liters benötigt erheblich weniger Energie, Wasser und landwirtschaftliche Fläche als die von Kuhmilch. Zudem verursacht sie weniger Treibhausgase. Lebensmitteltechnologin Dr. Theresia Heiden-Hecht und ihr Team vom Jülich Centre for Neutron Science (JCNS-4) nutzen Neutronen, um nach einem noch nachhaltigeren Milchersatz zu suchen. Blätter von Zuckerrübe oder Luzerne sollen ihn liefern. Anders als die essbaren Haferkörner fallen sie in der Landwirtschaft als Nebenprodukte an und werden für die menschliche Ernährung nicht genutzt.

Pflanzliche Alternativen müssen nach ähnlichem Muster aufgebaut sein wie Kuhmilch. Diese enthält Fette und Wasser, deren Moleküle sich nicht miteinander vermischen. Trotzdem trennen sich die Fette in der Milch nicht vom Wasser und setzen sich nicht ab. Stattdessen bilden sie mikroskopisch kleine Tröpfchen, die in der Milch fein verteilt sind. Dass diese Tröpfchen über einen längeren Zeitraum nicht zusammenfließen, liegt an einem weiteren Milchbestandteil, den Proteinen. Sie stabilisieren die Tröpfchen dort, wo Fette und Wasser aufeinandertreffen.



Um neue pflanzliche Drinks zu entwickeln, muss man verstehen, wie genau verschiedene pflanzliche Proteine die Stabilität der Tröpfchen-Grenzflächen beeinflussen. Dann kann man gezielt Art und Menge der Proteine dosieren. „Neutronen eignen sich ideal, um diese Grenzflächen nicht nur in Modellsystemen, sondern auch in echten Milchersatzprodukten zu untersuchen“, sagt Heiden-Hecht. Dabei nutzen die Forscher:innen aus, dass man mit Neutronen bestimmte Bereiche einer Probe gezielt sichtbar machen kann, während andere ausgeblendet werden. Dazu ersetzen sie den Wasserstoff in unterschiedlichem Ausmaß durch Deuterium, das Neutronen anders streut.

Um Art, Struktur und Form der Proteine in den Grenzflächen der Fetttröpfchen zu erforschen, verwendet Heiden-Hechts Team die Kleinwinkel-Neutronenstreuung. Die aufwendigere Neutronenspinchospektroskopie bietet ihnen sogar Einblicke in die Bewegungen der Proteine.

FRANK FRICK

Offen für Neues

Anke Nölscher will wissen, wie die Atmosphäre funktioniert – und wie alles miteinander verbunden ist. Ihr Weg: Neues lernen, Zusammenhänge erkennen und gemeinsam Lösungen finden.

Wenn Anke Nölscher über ihre Arbeit spricht, geht es selten um sie selbst – meist um ihr Team, gemeinsame Ideen und den Austausch mit anderen. „In Jülich führe ich im Moment viele Gespräche mit Kolleginnen und Kollegen, auch aus anderen Instituten. Das ist enorm spannend, weil man dadurch neue Perspektiven gewinnt – und oft ganz unerwartet auf neue Ansätze stößt“, sagt sie. Dieses Miteinander ist für sie der Kern wissenschaftlicher Arbeit.

Seit April 2025 leitet die Meteorologin den Institutsbereich Troposphäre (ICE-3) am Institute of Climate and Energy Systems. Gleichzeitig lehrt sie Erdsystemwissenschaften und Atmosphärenchemie an der Universität zu Köln. Ihre Lehrveranstaltungen gestaltet sie bewusst interdisziplinär. „Die Begeisterung kommt durch den Austausch“, betont sie. Beispielsweise ist ihre Antrittsvorlesung Teil der Ringvorlesung „Moderne Erdsystemwissenschaften“, bei der Studierende aus Natur-, Sozial- und Medizinwissenschaften zusammenkommen – ganz im Sinne ihres Ansatzes: fachübergreifend denken, gemeinsam handeln.

NEUE IMPULSE

Entsprechend setzt Nölscher am ICE-3 auf interdisziplinäre Teams, die Physik, Chemie, Biologie, Daten- und Ingenieurwissenschaften verbinden. Diese arbeiten an Projekten, die von globalen Modellen bis zu komplexen Laborexperimenten reichen. Für Nölscher ist es wichtig, die vielen Facetten der Atmosphäre zu verstehen und zusammenzubringen: die physikalische Dynamik von Wind und Wetter, die chemischen Reaktionen der Spurengase, die natürlichen Emissionen der Pflanzen und die menschengemachten Schadstoffe. „Alles hängt mit allem zusammen – und nur mit Blick auf alle Puzzleteile können wir verstehen, wie das System Erde funktioniert“, hebt die Meteorologin hervor.

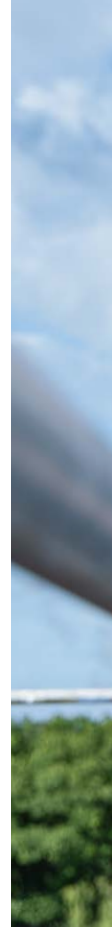
Ihr Ziel ist es, traditionelle Forschungsthemen mit neuen Impulsen zu verbinden. Die Schwerpunkte des ICE-3 liegen auf den Wechselwirkungen zwischen Erde und unterer

Atmosphäre im Kontext des Klimawandels und deren Einfluss auf die Luftqualität. Ein neuer Impuls ist aus Nölschers Sicht beispielsweise der atmosphärische Transport von Mikroplastik. „Mikroplastik wurde bisher vor allem im Ozean und im Boden untersucht. Über die atmosphärische Verbreitung ist bisher wenig bekannt“, sagt Nölscher.

Unbekanntes reizte Nölscher schon immer: „Jede Station in meinem Studium und in meiner Laufbahn war eine Chance, etwas Neues zu lernen – immer mit dem Ziel, die Prozesse in der Atmosphäre und damit das Erdsystem besser zu verstehen.“ Nach dem Meteorologiestudium promovierte sie 2012 am Max-Planck-Institut für Chemie in Mainz, wo sie die physikalischen und chemischen Wechselwirkungen zwischen Atmosphäre und Wäldern erforschte. Damals arbeitete sie zum ersten Mal an der Jülicher Atmosphärensimulationskammer SAPHIR – einer Anlage, die sie bis heute fasziniert. Denn in dieser 270 Kubikmeter großen Kammer lassen sich unterschiedlichste Luftgemische nachbilden und genau analysieren – von sauberer Waldluft bis hin zu belasteter Stadtluft.

Ihre Neugier trieb sie noch weiter in die Welt hinaus. Während der Doktorarbeit forschte sie in Wäldern von Finnland bis Brasilien. Dort lernte sie, wie man unter schwierigen Bedingungen Messkampagnen plant und im Notfall auch improvisiert. „Wenn ein Messinstrument nicht funktioniert, gibt es einen Grund, den man logisch finden und technisch lösen kann. Zu jedem Problem gibt es eine Lösung“, beschreibt sie ihre Vorgehensweise.

Wie wichtig dabei Teamarbeit ist, wurde bei einer internationalen Messkampagne auf den Kanaren deutlich: „Wir wollten untersuchen, wie sich der Austausch von Ozean und Atmosphäre im Klimawandel verändert. Der gesamte Versuchsaufbau wurde jedoch durch einen Sturm zerstört. Das war bitter. Wir mussten improvisieren und kurzfristig kleinere Experimente aufsetzen – eine solche Anstrengung gelingt nur im Team.“





„Das Vermitteln von Wissen ist eine zentrale Aufgabe der Klimaforschung.“

ANKE NÖLSCHER

WENN NICHT JETZT – WANN DANN?

Weitere Messmethoden und Sensortechnik lernte sie während ihres Postdoc-Aufenthalts am California Institute of Technology in Pasadena, USA, kennen. Dort untersuchte sie, wie natürliche Emissionen von Pflanzen mit menschengemachten Schadstoffen reagieren. Die Expertise, die sie sich in den USA aneignete, kam ihr bei ihrer Rückkehr nach Deutschland zugute.

Beim Deutschen Wetterdienst übernahm sie als Projektkoordinatorin Verantwortung im Bereich des Messnetzes mit über 1.000 Stationen. „Die zahlreichen Sensoren, die hier verbaut sind, müssen gemanagt werden. Viele Menschen sorgen dafür, dass die Messinstrumente rund um die Uhr reibungslos arbeiten und Daten liefern. Teamarbeit und gute Organisation waren hier besonders gefragt“, sagt sie. Der Job passte auch perfekt zu ihrer familiären Situation mit zwei kleinen Kindern. Der Wunsch, wieder zu forschen und zu lehren, ließ sie aber nicht los. Als 2018 eine Juniorprofessur in Bayreuth ausgeschrieben wurde, die genau auf ihr Profil passte, stand ihre Entscheidung fest: „Wenn nicht jetzt, wann dann?“

Nölscher widmete sich in ihrem neuen Forschungsumfeld der Frage, wie sich Ultrafeinstaub in der Atmosphäre verteilt und wie sich das auf die Luftqualität auswirkt. Dieser Staub enthält Partikel, die höchstens 100 Nanometer groß sind und ein Risiko für die Gesundheit darstellen können, aber auch die Wolkenbildung und die einfallende Sonnenstrahlung beeinflussen. Dabei verglich sie Proben aus unterschiedlich belasteten Regionen, vom Münchener Flughafen bis hinauf zur Zugspitze. Das Ziel war es, chemische Fingerabdrücke und wertvolle Hinweise zur Entstehung, Verbreitung und Auswirkung von Ultrafeinstaub zu erhalten.

Ihr breites Wissen passt sehr gut zu der über Jahrzehnte entwickelten Jülicher Expertise in der Atmosphärenforschung. Als neue Direktorin des Institutsbereichs Troposphäre will sie dessen Erfolgskurs – ergänzt um die angestrebten Impulse – weiter halten. Dazu gehört auch die Kommunikation. „Das Vermitteln von Wissen – beispielsweise gegenüber Öffentlichkeit und Politik – ist eine zentrale Aufgabe der Klimaforschung. Es ist wichtig, dass wir einen intensiven Dialog über die globalen Herausforderungen wie die Klimakrise führen, etwa bei der UN-Klimakonferenz, um gemeinsame Weg zu finden“, sagt Nölscher – und verweist ausdrücklich auf den jüngsten Appell der deutschen Meteorologischen und Physikalischen Gesellschaften: „Angesichts der beschleunigten Klimaerwärmung braucht es entschlosseneres Handeln.“

BRIGITTE STAHL-BUSSE



Neuer Auftritt eines alten Bekannten

↑ In ihren Händen liegt ein Stück Zukunft: Laura Junker-Frohn mit Buchweizen im Gewächshaus des IBG-2.

Buchweizen war einst ein beliebtes Nahrungsmittel in Deutschland, bis er fast komplett in Vergessenheit geriet. Nun bahnt sich ein Comeback auf Äckern und Esstischen an. Doch in der genügsamen Pflanze steckt mehr Potenzial.

Ob in Pfannkuchen, Grütze oder Knödeln – für viele Generationen war Buchweizen ein alltägliches Lebensmittel. Die ursprünglich aus Asien stammende Pflanze wurde zwischen dem 16. und 19. Jahrhundert in ganz Mitteleuropa angebaut. Doch anders als in Osteuropa, Russland und Asien verschwand das Gewächs von deutschen Feldern und aus der Küche. Ertragreichere Getreidearten und die Kartoffel liefen ihm den Rang ab. Zu Unrecht, findet die Pflanzenforscherin Dr. Laura Junker-Frohn vom Institut für Bio- und Geowissenschaften (IBG-2). „Buchweizen bringt viele Eigenschaften mit, die gerade in Zeiten des Klimawandels wertvoll sein können. Er wächst schnell, ist robust, genügsam und gleichzeitig reich an Nährstoffen,“ hebt die Wissenschaftlerin hervor.

Auch in der Bevölkerung wächst das Interesse an der Pflanze: Buchweizen ist glutenfrei und taucht daher zunehmend in modernen Rezepten und Produkten auf. Für die Industrie könnte er zudem ein entscheidender Baustein der Bioökonomie werden. Mittlerweile lässt sich die Pflanze wieder häufiger auf Ackerflächen in Deutschland finden, wenn auch in eher bescheidenen Ausmaßen im Vergleich zu Exportgrößen wie Russland und China mit ihren Hunderttausenden Hektar Anbaufläche.

NEUE SORTEN, NEUER NUTZEN

Junker-Frohn arbeitet daran, das Comeback der Pflanze wissenschaftlich zu unterstützen. In dem von ihr koordinierten Projekt BIMOTEC schafft sie mit Kolleg:innen aus dem IBG-2 und dem Institutsbereich Bioinformatik

„Buchweizen bringt viele Eigenschaften mit, die gerade in Zeiten des Klimawandels wertvoll sind.“

LAURA JUNKER-FROHN

(IBG-4) sowie mit Partner:innen aus Pflanzenzüchtung und Industrie die Grundlagen, um Buchweizen als vielseitige Nutzpflanze wieder in Deutschland zu etablieren. Dazu zählt das Züchten neuer Sorten speziell für die Nahrungsmittelproduktion. Denn: „In Deutschland wurde die Zucht für diesen Bereich vor über 50 Jahren eingestellt. Was Landwirte heute anbauen, stammt aus anderen Ländern und ist nicht an die hiesigen Bedingungen angepasst“, erklärt Junker-Frohn. „Da gibt es noch viel züchterisches Potenzial.“

Um das auszuloten, nutzt die Wissenschaftlerin unter anderem sogenannten Rhizotrone – spezielle Behälter mit transparenten Wänden, die einen Blick auf die Wurzeln ermöglichen und in langen Reihen im Gewächshaus auf dem Jülicher Campus stehen. Die Behälter sind Teil der am Institut entwickelten Phänotypisierungsanlage GrowScreen-Rhizo 3, mit der das Wurzelwachstum automatisiert beobachtet werden kann. Täglich erfassen Kameras das Wachstum von mehreren Hundert Pflanzen, sodass gut 50 verschiedene Buchweizensorten verglichen werden können. Diese Bilder fließen in die Analyse ein: Wie entwickelt sich das Wurzelwerk bei Trockenheit? Welche Sorten kommen auch mit wenig Stickstoffdüngung zurecht?

„Anhand der Daten können wir erkennen, welche Sorten besonders widerstandsfähig sind“, so Junker-Frohn. Parallel arbeiten Projektpartner:innen der Universität Hohenheim an einem mathematischen Modell, um das Wachstum der Pflanze unter verschiedenen Bedingungen zu simulieren und so den Ertrag vorherzusagen. Auch das hilft, den Anbau weiter zu optimieren. Am Ende sollen neue Buchweizensorten entstehen, die auf deutschen Feldern stabile Erträge liefern – und gleichzeitig mit klimatischen Stressfaktoren umgehen können.

Nährstoffbombe

Buchweizen enthält alle acht essenziellen Aminosäuren, B-Vitamine, Mineralstoffe und Antioxidantien wie Rutin und Quercetin. Außerdem essenzielle Fettsäuren wie Linolsäure. Zum Essen verwendet werden aber nur die geschälten Körner, die zu Mehl, Flocken, Grütze oder Kernen verarbeitet werden. Kerne und Flocken eignen sich für Müsli oder zum Garnieren von Salaten.



Das Team schaut aber nicht nur auf den Kornertrag. „Wir untersuchen, wie sich die ganze Pflanze nutzen lässt“, erläutert die Forscherin. Beispielsweise sucht das Fraunhofer-Institut für Molekularbiologie und Angewandte Ökologie nach wertvollen Substanzen in Blättern und Samenhüllen für die Pharma- und Lebensmittelindustrie. Der Industriepartner Phytowelt Green Technologies testet bereits, wie sich der Inhaltsstoff Rutin im großen Maßstab extrahieren und als Wirkstoff gezielt aufwerten lässt. Darüber hinaus könnte der Stängel als biobasierter Rohstoff eine Alternative zu fossilen Rohstoffen sein.

GUT FÜR DIE FELDER

Mit dem Anbau von Buchweizen tun Landwirte auch ihren Feldern etwas Gutes. Bereits heute wird er als Gründünger angebaut, um den Boden aufzulockern und gesund zu halten. Allerdings wird nach der Haupternte ausgesäter Gründünger später lediglich untergepflügt. Der Buchweizen könnte aber auch geerntet werden, ließe sich also als sogenannte Zweitfrucht nutzen. Dann würde er nicht nur den Boden pflegen, sondern auch finanziellen Gewinn einbringen.

Laura Junker-Frohn arbeitet mit ihren Kolleg:innen daran, den Buchweizen als Zweitfrucht beispielsweise nach der Ernte von Wintergetreide oder Frühkartoffeln fit zu machen. Da der genügsame Buchweizen auch später im Jahr gut wächst, würden die entsprechenden Felder zudem nicht brachliegen. Buchweizen trägt darüber hinaus zur Agrobiodiversität – also zur Vielfalt der Kulturpflanzen – bei, weil er mit keiner anderen gängigen Nutzpflanze verwandt ist. Ganz besonders freuen sich Bienen über den Nektarspender später im Jahr, wenn kaum noch etwas anderes blüht.

„Betrachtet man alle diese Faktoren, sehen wir viel Potenzial dafür, dass der Buchweizen sein Comeback schafft“, fasst Junker-Frohn zusammen. „Bis dahin braucht es noch etwas Zeit und Geduld.“

ANNA TIPPING

Digitale Ebenbilder

Ob Acker oder Klimakammer: In Jülich entstehen am Rechner virtuelle Abbilder der Landwirtschaft. Mit solchen digitalen Zwillingen lässt sich nicht nur der Ertrag optimieren, sondern auch der Klimaschutz vorantreiben.

Wenn Dr. Felix Bauer an „seinem“ landwirtschaftlichen Hof arbeitet, muss er dazu nicht in den Stall oder aufs Feld. Er setzt sich einfach an seinen Rechner; Bauer ist kein Landwirt, sondern Forscher. Zusammen mit Kolleg:innen am Institut für Bio- und Geowissenschaften (IBG 3) hat er ein virtuelles Ebenbild des 30 Kilometer entfernten Damianshof erschaffen – einen digitalen Zwilling.

Der reale Hof in der Gemeinde Rommerskirchen wird in der sechsten Generation bewirtschaftet; auf rund 115 Hektar baut die Familie Zuckerrüben, Kartoffeln und Getreide an. Sie setzt hierbei auf nachhaltige Landwirtschaft. Der digitale Zwilling des Hofes ist Teil des Projekts ReGenFarm von Jülich und der Bayer AG.

Mit einem digitalen Zwilling lassen sich Prozesse und Maßnahmen verstehen, testen und optimieren, aber auch bestimmte Szenarien modellieren, um Vorhersagen abzuleiten. Alle Berechnungen basieren auf umfangreichen Informationen aus der realen Welt. Im Fall des Hofes sind das Daten über die Felder, Fruchtfolgen, Düngetermine oder Bewässerungen, aber auch Klima- und Wetterdaten sowie Standorteigenschaften, etwa zur Bodenbeschaffenheit.

Felix Bauer kann mithilfe des virtuellen Hofes beispielsweise simulieren, wie sich eine unterschiedliche Bewirtschaftung der Felder oder die Folgen des Klimawandels auf die Bodenqualität oder die Erträge auswirken. „Unsere Erkenntnisse sollen Landwirte bei Entscheidungen in ihrer täglichen Arbeit unterstützen, etwa wann gedüngt werden sollte“, erklärt der Agraringenieur.

CARBON-FARMING-ANSATZ

Die zentrale Frage beim Projekt ReGenFarm ist: „Wie lässt sich mehr Kohlenstoff in den Boden einbringen?“, erklärt Projektleiter Prof. Sander Huisman vom IBG-3. Dahinter steckt das Konzept des „Carbon Farming“. Es zielt darauf ab, der Atmosphäre das Treibhausgas CO₂ zu entziehen und langfristig in landwirtschaftlich genutzten Böden zu speichern. Dies gelingt etwa durch den Anbau von Zwischenfrüchten, optimierte Sorten und Fruchtfolgen, Rückführung von Ernterückständen oder durch den verstärkten Einsatz von organischem Dünger.

Vielfältige Zwillinge

Jülicher Forscher:innen entwickeln und nutzen digitale Zwillinge in verschiedenen Bereichen, von Gesundheit bis zur Energiewende. In der europäischen Forschungsinfrastruktur EBRAINS entstehen zum Beispiel individuell personalisierte Gehirnmodelle, mit denen sich Therapien für psychische Erkrankungen virtuell erproben lassen.

In der Energieforschung dient der Jülicher Campus als Reallabor: Der digitale Zwilling des Living Lab Energy Campus (LLEC) verknüpft Gebäude, Netze, Speicher und Wärmesysteme, um ein intelligentes, nachhaltiges und wirtschaftliches Energiesystem zu ermöglichen.

Medizinforscher:innen wiederum arbeiten an einem digitalen Abbild einer menschlichen Zelle. Damit versuchen sie, Krankheitsprozesse zu verstehen und Therapien maßzuschneidern. Jülich beteiligt sich darüber hinaus am Projekt „Destination Earth“, welches ein virtuelles Abbild der gesamten Erde und ihres Klimas erschafft: der bislang größte digitale Zwilling überhaupt. Unterstützung kommt stets vom Jülich Supercomputing Centre, das Rechner passgenau für digitale Zwillinge einrichtet und optimiert.





↑ Am Bildschirm können Sander Huisman (l.) und Felix Bauer die Einstellungen des digitalen Zwillings vom Damianshof anpassen.

Dieser Ansatz bekämpft nicht nur den Klimawandel, sondern verbessert gleichzeitig die Qualität und Gesundheit des Ackerbodens, weil der Kohlenstoff fruchtbaren Humus bildet.

Obendrein lohnen sich Carbon-Farming-Maßnahmen, weil die Landwirte wegen des zusätzlich gespeicherten Kohlenstoffs CO₂-Zertifikate verkaufen können. „Mit unserem Modell können wir die verschiedenen Optionen für Carbon Farming simulieren und bewerten – etwa in Bezug auf die im Boden gespeicherte Menge an Kohlenstoff und die Erträge“, sagt Huisman.

KLIMASZENARIEN DER ZUKUNFT

Noch komplexer als bei ReGenFarm wird es beim digitalen Zwilling der Forschungsplattform AgraSim. Dort geht es nicht nur um Kohlenstoff, sondern um ein ganzes Bündel an Interaktionen zwischen Boden, Pflanze und Atmosphäre. Die Daten aus der realen Welt liefert eine riesige Anlage in einer Halle auf dem Campus. Zu ihr gehören sechs wuchtige Metallzylinder, die in garagen-große Klimakammern übergehen: „Die Zylinder sind jeweils mit drei Tonnen echtem Ackerboden

gefüllt. Zusammen mit den Kammern bilden sie ein von der Außenwelt abgeschlossenes Ökosystem“, erläutert Prof. Andrea Schnepf, die zum interdisziplinären Team von AgraSim gehört. Die Anlage erlaubt es den Forscher:innen, etliche Parameter präzise zu regulieren – zum Beispiel CO₂-Konzentration, Luftfeuchtigkeit und Niederschlag, aber auch Temperatur und Wassergehalt des Bodens.

„So können wir Pflanzen unter ganz unterschiedlichen Bedingungen kultivieren, beobachten und die Auswirkungen künftiger Klimaszenarien auf landwirtschaftliche Anbausysteme untersuchen“, sagt Schnepf. Die Daten aus den Versuchen fließen künftig direkt in einen digitalen Zwilling ein. Er wird auf einem der Jülicher Hochleistungscomputer laufen und berechnen, wie sich das Ökosystem entwickelt. Seine Ergebnisse vergleichen die Forscher:innen mit den Werten aus den Experimenten – etwa Pflanzen- und Wurzelwachstum oder Gasaustausch zwischen Boden, Pflanze und Atmosphäre. So lassen sich Vorhersagen des digitalen Zwillings überprüfen und dessen Qualität weiter verbessern.



← Expertin für die Wurzelzone: Andrea Schnepf, Leiterin der Gruppe Soil, Root Systems and Rhizosphere Processes



← Harrie-Jan Hendricks-Franssen, Leiter der Gruppe Stochastische Analyse terrestrischer Systeme, verbessert Modellvorhersagen.

Während Schnepf die kleinskaligen Vorgänge im Bereich der Wurzelzone modelliert, kümmert sich Prof. Harrie-Jan Hendricks-Franssen vor allem um Prozesse von kontinentaler Größenordnung. „Wegen des Klimawandels erwarten wir in Zukunft mehr Extremwetterereignisse, also beispielsweise starke Niederschläge oder Dürreperioden.“

Um das zu berücksichtigen, nutzt er sogenannte Storyline-Simulationen: „Man verschiebt die atmosphärischen Strömungsbedingungen, die bereits zu Extremereignissen geführt haben – wie etwa zur Trockenheit 2018 –, in eine um ein paar Grad wärmere Zukunft“, sagt Hendricks-Franssen. Aus solchen Modellierungen bekommt er alle notwendigen Klimavariablen, um die Kammern für das gewünschte Szenario einzustellen.

„Unsere Modelle für die Wechselwirkungen zwischen Boden, Pflanzen und Atmosphäre brauchen allerdings sehr viel Rechenzeit“, so

der Wissenschaftler. Das liegt daran, dass diese Simulationen viele physikalischen und biophysikalischen Prozesse im Detail berechnen müssen. Daher werden er und seine Kolleg:innen auch auf KI-Modelle setzen. „Sie prognostizieren die Zukunft anhand der im Training erlernten Zusammenhänge, ohne ständig physikalische Gleichungen zu lösen. Dabei sind sie zwar etwas weniger genau, schaffen aber viele Simulationen in kurzer Zeit“, erläutert Hendricks-Franssen.

Die Forscher:innen erhoffen sich davon Vorhersagen darüber, wie sich die Landwirtschaft am besten an künftige klimatische Bedingungen anpassen lässt: Welche Sorten wachsen am besten? Welche Fruchtfolge ist am ertragreichsten? Welche Maßnahmen erhöhen die Bodenqualität und sind klimafreundlich? So lohnt sich der digitale Zwilling am Ende doppelt: für die Landwirte und das Klima.

Frostige Aussichten für Transistoren

Computerchips erzeugen viel Wärme und verbrauchen viel Energie für die Kühlung. Mit Elektronik, die bei sehr tiefen Temperaturen arbeitet, könnte der Strombedarf um bis zu 80 Prozent gesenkt werden. Wie das funktioniert, erläutert Prof. Qing-Tai Zhao im Interview.

Prof. Zhao, welche Vorteile bieten sehr tiefe Temperaturen?

Bei Temperaturen von -196 Grad Celsius oder noch kälter könnten Computerchips nicht nur schneller, sondern auch deutlich sparsamer arbeiten – wenn sie entsprechend angepasst werden. Das Cryogenic Computing ist nicht nur für Quantencomputer oder die medizinische Bildgebung interessant, auch konventionelle Computerchips könnten von einer starken Kühlung profitieren.

Wie sieht das konkret aus?

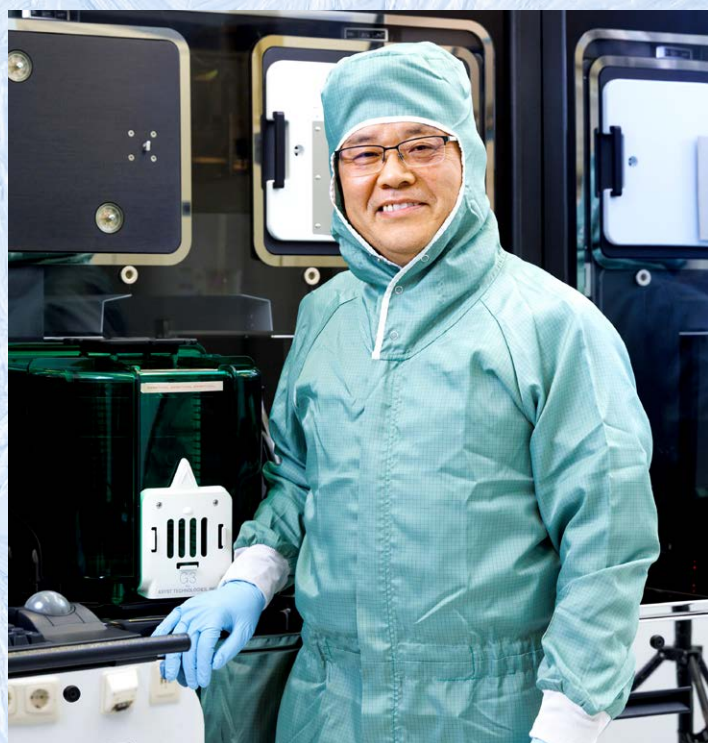
Ein Großteil des Stromverbrauchs in Computern geht auf das Konto der Transistoren. Diese winzigen Schalter benötigen eine bestimmte Spannung, um zwischen Ein und Aus zu wechseln. Diese sinkt mit abnehmender Temperatur. In der Nähe des absoluten Nullpunkts wären theoretisch nur noch wenige Millivolt nötig statt rund 1 Volt bei Raumtemperatur. Weniger Spannung bedeutet weniger Energie und Hitze. Studien zeigen, dass so Stromeinsparungen von bis zu 80 Prozent möglich wären – inklusive Aufwand für Flüssigstickstoff- oder Heliumkühlung. Allerdings kann man heutige Computerchips nicht einfach bei solchen Temperaturen betreiben.

Wieso nicht?

Das liegt an physikalischen Phänomenen wie den Band-Tail-Effekten und dem Source-Drain-Tunneling. Sie führen dazu, dass Transistoren bei extremer Kälte nicht richtig abschalten und unerwünscht Strom durchfließen lassen beziehungsweise die Schalteffizienz eines Transistors sinkt. Im Endeffekt kann die angepeilte Energieeffizienz nicht erreicht werden.

Wie kann man das verhindern?

Wir benötigen andere Materialien, etwa Halbleiter mit kleiner Bandlücke, die ein Schalten bei niedrigeren Spannungen erlauben. Gemeinsam mit Kolleg:innen aus Aachen, der Schweiz, Taiwan und Japan sowie dem taiwanesischen Chiphersteller TSMC haben wir Technologien untersucht, die in Kombination eine Art



↑ Qing-Tai Zhao leitet die Arbeitsgruppe Nanoelektronische Bauelemente am Peter Grünberg Institut (PGI-9).

Super-Transistor für die Kälte ermöglichen könnten. Wir konnten zum Beispiel die Oberflächen und Grenzflächen innerhalb des Transistors optimieren sowie eine besonders präzise Steuerung und eine passende Steuerspannung realisieren.

Wie lautet Ihr Fazit?

Kryogene Bauelemente sind machbar. Unsere Ergebnisse zeigen, dass dafür verschiedene Ansätze kombiniert werden sollten – von High-k-Dielektrika über Wrap-Gate-Architekturen bis hin zu Back-Gating. Es ist allerdings weitere Forschung notwendig.

DIE FRAGEN STELLTE TOBIAS SCHLÖSSER.

Der einfache Weg zum Widerstand

Winzige Schaltelemente, sogenannte Memristoren, könnten künftig als neuer Standard für den elektrischen Widerstand genutzt werden.

Der Vorteil: Aufwand und Kosten für das Eichen von Messgeräten wären deutlich geringer.

Jeder physikalischen Größe ist eine Einheit zugeordnet, die exakt definiert ist: Wie lang ein Meter oder wie schwer ein Kilogramm ist, regelt das Internationale Einheitensystem SI. Früher wurden dafür physikalische Bezugsgrößen wie etwa das Urkilogramm verwendet, heute beruhen alle Standardeinheiten auf physikalischen Konstanten. So ist das Kilogramm mit der Planck-Konstante h verknüpft.

Diese Verknüpfung – und damit die Eichung – erfolgt mit hochpräzisen Apparaturen. Bei Zeitmessungen sind das zum Beispiel Atomuhren – eine vergleichsweise einfache Methode. Deutlich aufwändiger wird es bei elektrischen Einheiten wie dem Ohm für den Widerstand. Um eine beliebige Ohmzahl exakt zu erzeugen, muss auf den Quanten-Hall-Effekt zurückgegriffen werden. Dafür braucht es jedoch Temperaturen nahe dem absoluten Nullpunkt und Magnetfelder stärker als in einem Magnetresonanztomographen (siehe S. 13). Das geht nur mit komplexen Verfahren und Geräten.

Memristoren könnten das vereinfachen. Die nanoskalierten Schaltelemente wurden ursprünglich als Bausteine für neuartige Computerchips entwickelt. „Wir haben erstmals gezeigt, dass Memristoren zuverlässig Wider-



↑ Ilia Valov leitet die Arbeitsgruppe Grundlagen und Anwendungen der Nanoelektrochemie. Sie entwickelt unter anderem Memristoren für verschiedene Anwendungen.

stände erzeugen können, die direkt auf universellen Naturkonstanten beruhen – ganz ohne komplizierte Kühl- und Magnetanlagen“, erklärt Prof. Ilia Valov vom Peter Grünberg Institut (PGI-7). Die Abweichungen lagen bei 3,8 Prozent beziehungsweise 0,6 Prozent, wie Messungen der Projektpartner:innen in Italien, Portugal, Spanien und der Türkei bestätigten. „Schon diese Genauigkeit ist für den End-User völlig ausreichend“, hebt der Jülicher Forscher hervor.

BEGINN EINES PARADIGMENWECHSELS

Die winzigen Memristoren als Referenz zum Überprüfen der Ohmstärke lassen sich direkt in einem Mikrochip einbauen. Damit ausgerüstete Messgeräte könnten sich selbst eichen und müssten dazu nicht mehr für längere Zeit in Speziallabore geschickt werden. Mögliche Anwendungen reichen von vereinfachten Kalibrierverfahren in der Industrie bis zu mobilen oder portablen Messsystemen, etwa in der Raumfahrt. „Wir stehen hier am Beginn eines Paradigmenwechsels – weg von komplexen Großanlagen fürs Eichen hin zu quantengenauen Standards, die jeder Chip tragen kann“, so Valov.



GEFÄLLT UNS

GEWINNERIN VIDEOWETTBEWERB

Wenn das Gehirn auf „404“ schaltet

Was passiert, wenn der Kopf plötzlich leer ist – Gedanken wie verschwunden sind? Dieses Mind Blanking ist so ähnlich wie die 404-Fehlermeldung, wenn eine Webseite nicht gefunden wird. Wie Mind Blanking funktioniert, erklärt die Jülicher Hirnforscherin Agustina Aragón Daud in einem Video, das bei der BrainStorm Neuroscience Pitch Competition gewonnen und ihr damit 40.000 US-Dollar Fördergeld eingebracht hat. In dem Video zeigt die Doktorandin auch, wie sich mithilfe eines KI-Tools „mind blanks“ direkt aus der Hirnaktivität erkennen lassen. Mit ihrem Ansatz möchte sie neue Zugänge zur Erforschung des Bewusstseins ermöglichen – bis hin zu Anwendungen in der Klinik.

- [HTTPS://MINDSCIENCE.ORG/BRAINSTORM](https://mindscience.org/brainstorm) -



BÜRGER GESTALTEN ENERGIEWENDE

Mitforschen statt zusehen

Wie sehen Sie die Energiewende? Welche Hindernisse erleben Sie – und was bedeutet Gerechtigkeit dabei? Antworten auf diese Fragen sucht das neue Bürgerwissenschaftszentrum für Energie: Jede und jeder ab 18 kann dabei sein. Und das nicht nur als Interviewpartner:in oder Studienteilnehmer:in. Gesucht werden ebenfalls Menschen, die ihre Perspektive in die Wissenschaft einbringen und mitmachen, Forschung und deren Methoden weiterzuentwickeln. Helfen Sie mit, wissenschaftlich fundierte Handlungsempfehlungen zur Energiewende für Politik und Wirtschaft zu entwickeln. Dazu arbeiten Sie mit Forscher:innen aus dem Jülicher Institut für Systemanalyse (ICE-2) zusammen.

- GO.FZJ.DE/EFFZETT-BUERGERWISSENSCHAFTSZENTRUM -

SCHNAPPSCHÜSSE PRÄMIERT

Expedition Neugier

Ob in Schutzanzügen, beim Experiment oder Arm in Arm mit Dr. JuFox – beim Tag der Neugier zeigten Besucherinnen und Besucher nicht nur vor Ort ihre Begeisterung. Unter dem Motto „Expedition Neugier“ teilten sie ihre schönsten Momente auch auf Social Media: staunende Kinder, blitzende Labore, spontane Selfies.

Unter dem Hashtag #TagDerNeugier entstand so eine bunte Galerie des Tages. Eine Jury kürte die originellsten Beiträge – und wer gewonnen hat, trägt den Jülicher Forschergeist nun ganz sichtbar: in Form eines roten Shirts mit Jülich-Logo.

- WWW.TAGDERNEUGIER.DE/WALL -

FORSCHUNG IN EINEM TRÖT

Massenpanik – der Begriff wird häufig verwendet, ist aber irreführend. Expert:innen finden, er lenke von den wahren Ursachen ab.



Ergebnisse der Fußgängerdynamik zeigen, dass sich Menschen, wenn es in großen Massen eng wird, nicht kopflös niedertrampeln. Stattdessen handeln sie meist besonnen und kooperativ. „Ursache für Unglücke sind fast immer strukturelle Fehler, etwa zu hohe Personendichte infolge schlechter Organisation oder strukturelle Engpässe bei Fußgängeranlagen“, so der Jülicher Experte Dr. Maik Boltes. Daher empfehlen er und seine Kolleg:innen, auf die Umstände zu achten und statt von Massenpanik vorurteilsfrei etwa von „Unglück in einer Menschenmenge“ zu sprechen. Mehr dazu im Interview mit Maik Boltes.

go.fzj.de/effzett-Interview-Boltes