

# effzett

DAS MAGAZIN AUS DEM FORSCHUNGSZENTRUM JÜLICH

2-22

## Gut verknüpft!

So muss das Energiesystem künftig sein. Wie das funktioniert, erprobt Jülich auf dem eigenen Campus.

### KONTROLLIEREN

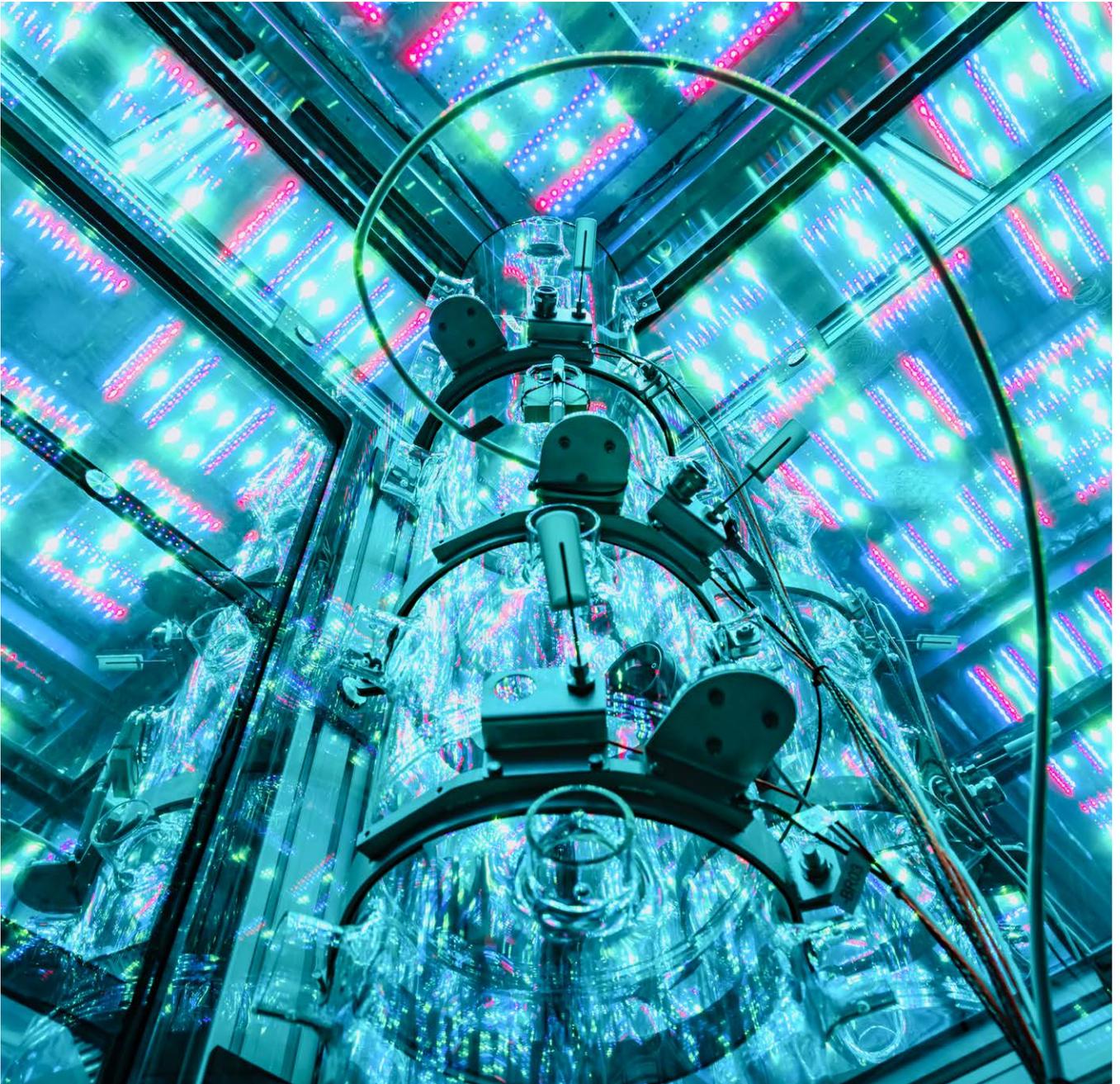
Die Schätzungen zur Luftqualität

### KOMMUNIZIEREN

Das Erfolgsmodell von Hirnforscherin Katrin Amunts

### KORRIGIEREN

Die Rechenfehler von Quantencomputern



## Die Pflanzen-Zeitmaschine

Bunte Lichter, zahlreiche Kabel, Rohre und Behälter – das komplexe Gebilde könnte aus einem Science-Fiction-Film stammen. Doch die Anlage ist echt. Sie ermöglicht einen Blick in die Zukunft – zumindest in Bezug auf Nutzpflanzen. In ihr können Forscher:innen künftige Klimabedingungen erzeugen und Atmosphäre, Pflanzen und Boden als Gesamtsystem untersuchen. Ab 2024 soll zum Beispiel im Großexperiment AgraSim erforscht werden, wie Weizen, Mais, Gerste oder Kartoffel auf den Klimawandel reagieren werden. Entwickelt und gebaut haben die Anlage das Institut für Bio- und Geowissenschaften (IBG-3) und das Zentralinstitut für Engineering, Elektronik und Analytik (ZEA-1).

Mehr zu AgraSim und der Anlage im Internet: [go.fzj.de/pflanzen-zeitmaschine](https://go.fzj.de/pflanzen-zeitmaschine)

**NACHRICHTEN****5****TITELTHEMA****Vernetzte  
Energie**

Wie sich Energie effizient nutzen lässt, erprobt Jülich in einem Reallabor auf dem Campus.

**8****FORSCHUNG****Sauber  
geschätzt!**

Mit Modellen prüft Anne Caroline Lange Angaben zur Luftqualität.

**16****Erfolgsmodell  
Netzwerk**

Katrin Amunts schildert, was exzellente Hirnforschung ausmacht.

**18****Parkinson-  
Puzzleteil  
gefunden**

Krankheit verändert das Gehirnvolumen.

**20****Aus der  
Quantenwelt**

Einige Schritte weiter auf dem Weg zum Quantencomputer

**22****Turbinen schneller  
reparieren**

Mit dem Laser schützende Keramikstrukturen aufbauen

**25****RUBRIKEN****Aus der Redaktion****4****Impressum****4****Woran forschen  
Sie gerade?****21****Besserwissen****26****Gefällt uns****27****Forschung in einem  
Tweet****28**

# Effizient und intelligent!

Extrem hohe Energiepreise belasten die Menschen und die Wirtschaft. Eine Lösung für Strom: Mehr erzeugen, das soll die Preise drücken. Mindestens ebenso viel Potenzial bieten zwei andere Maßnahmen – die Effizienz steigern und die Nachfrage reduzieren. Wirtschaftswissenschaftler:innen der Universität Erlangen kommen in einer Kurzstudie zu dem Schluss, dass die Forcierung dieser beiden Maßnahmen, verbunden mit einem Ausbau der Erneuerbaren Energien, sogar das größte Potenzial bieten würde. Wie so etwas künftig funktionieren könnte, zeigt das Jülicher Living Lab Energy Campus (LLEC). Dank eines intelligenten Energiesystems, das Nachhaltigkeit und Wirtschaftlichkeit vereint, kommen die beteiligten Gebäude und Labore des Forschungszentrums mit weniger Energie aus, ohne Einschränkungen für die Beschäftigten, aber mit mehr Benutzerkomfort. Dazu werden Sektoren wie Strom und Wärme intelligent vernetzt, Energie wird bedarfsgerecht genutzt und der Verbrauch weitgehend automatisch gesteuert. Der Ansatz des Reallabors kann als Blaupause für kleine Stadtteile oder Siedlungen dienen.

Intelligente Ansätze entwickeln Jülicher Forscher:innen auch in anderen Bereichen: etwa, um Angaben zur Luftqualität in Deutschland zu prüfen, um Quantencomputer zu realisieren oder um die Hirnforschung voranzutreiben.

Viel Vergnügen beim Lesen wünscht  
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.)

**Autor:innen:** Marcel Bülow, Dr. Janosch Deeg, Dr. Frank Frick, Christian Hohlfeld, Katja Lüers, Dr. Regine Panknin, Dr. Arndt Reuning, Dr. Barbara Schunk, Tobias Schlößer, Erhard Zeiss.

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

**Bildnachweise:** Forschungszentrum Jülich/Sascha Kreklau (Titel, 3 li. o. und u., sowie Mitte u., 6 li., 7-13, 16 o., 22-23 (großes Bild), 24, 28); Forschungszentrum Jülich/Klaus Landry (21); Forschungszentrum Jülich/Ralf-Uwe Limbach (2, 20 re. u., ); Forschungszentrum Jülich/Hiltrud Moitroux (25 (kleines Bild)); Mareen Fischinger (3 Mitte o., 18-19); Thomas Gulde, KIT (5 o.); Diana Köhne (26 (Illustration));

PASQUAL (23 re.); SeitenPlan (14-15 (Illustration), 20 (Hintergrundillustration)); Universität Bonn/PhenoRob (5 u.); alle in Folgenden genannten Motiv sind von Shutterstock.com: Jaromir Chalabala (3 re.); frank\_peters (25 o.); NicoElNino (6 re.); Sergey Nivens (17 u.); spacezero.com (26 (Hintergrund)); Syda Productions (4)

**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:** 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.





## ATMOSPHÄRENFORSCHUNG

**Startklar**

Zwei miteinander verbundene Wetterballons warten auf dem Flugfeld im kanadischen Timmins darauf, ihre Reise bis in eine Höhe von 36 Kilometern anzutreten. Dort soll das an den Ballons hängende Infrarotspektrometer GLORIA-B Daten sammeln, mit denen die Auswirkungen von Treibhausgasen, Luftschadstoffen und Vulkanausbrüchen auf die Erdatmosphäre analysiert werden. GLORIA-B wurde gemeinsam von Jülicher und Karlsruher Expert:innen entwickelt. Die Messflüge im Spätsommer 2022 dienten zur Vorbereitung von Satellitenmissionen wie CAIRT und FORUM, die künftig solche Daten aus dem All erfassen sollen.

- INSTITUT FÜR ENERGIE- UND KLIMAFORSCHUNG /  
ZENTRALINSTITUT FÜR ENGINEERING,  
ELEKTRONIK UND ANALYTIK -



## GEOWISSENSCHAFTEN

**Neues Mitglied der Leopoldina**

Die Nationale Akademie der Wissenschaften Leopoldina hat den Jülicher Bodenwissenschaftler Prof. Wulf Amelung als neues Mitglied aufgenommen. Er ist der Sektion Agrar- und Ernährungswissenschaften zugeordnet. Zu ihren Mitgliedern wählt die Akademie Forscher, die sich durch bedeutende wissenschaftliche Leistungen ausgezeichnet haben.

- INSTITUT FÜR BIO- UND GEOWISSENSCHAFTEN -



# 300

## Millionen Synapsen ...

... in einem neuronalen Netzwerk haben Jülicher Forscher:innen in bislang unerreichter Geschwindigkeit simuliert. Auf einem Prototyp des „neuronalen“ IBM-Supercomputers INC-3000 konnten sie die Netzwerk-Aktivität viermal schneller als in Echtzeit berechnen. Die Simulationen sollen helfen, das Lernen und die Hirnentwicklung besser zu verstehen.

Interview mit Dr. Arne Heitmann über die Rekord-Simulationen:  
[go.fzj.de/nc-interview](https://go.fzj.de/nc-interview)

- PETER GRÜNBERG INSTITUT -

## INFORMATIONSTECHNOLOGIE

# Gefährliche Infektionen schnell erkennen

Deutschland soll ein lokales Frühwarnsystem zur Kontrolle von Infektionsausbrüchen, kurz LOKI, bekommen. Ziel ist es, Gesundheitsämter zu unterstützen, lokale Ausbrüche zu erfassen und mithilfe von Computermodellen das weitere Infektionsgeschehen vorherzusagen. So sollen sich passgenaue Maßnahmen für eine Region entwickeln lassen. Das dafür eingerichtete Pilotprojekt, an dem das Forschungszentrum Jülich und fünf weitere Partner beteiligt sind, ist im Sommer 2022 gestartet und soll bis Ende 2025 laufen.

- Institut für Energie- und Klimaforschung/  
 Jülich Supercomputing Centre/  
 Institut für Bio- und Geowissenschaften -



# Neue Regel für die Orbitalbildung

Elektronenorbitale zeigen, wo und wie sich Elektronen um Atomkerne und Moleküle bewegen. Damit sich Orbitale bei chemischen Reaktionen – also dem Ab- und Aufbau von Elektronenbindungen – verbinden können, müssen sie hinsichtlich Energie und räumlicher Ausdehnung übereinstimmen. Forscher:innen aus Graz und Jülich haben bei Experimenten herausgefunden, dass die Orbitale noch eine weitere Übereinstimmung benötigen, damit neue Bindungen entstehen können: Sie müssen zusätzlich eine gleiche Impulsverteilung aufweisen.

- PETER GRÜNBERG INSTITUT -

KLIMAFORSCHUNG

## Faktenpapier aktualisiert

Die Folgen der globalen Erwärmung sind in diesem Jahr deutlich zu spüren: Hitze und Dürre in China, Europa und Nordamerika, Flutkatastrophe und Temperaturrekorde in Südasien. Das 2020 erschienene Faktenpapier „Was wir heute übers Klima wissen“ ist mit neuesten Daten und Erkenntnissen aus dem Sachstandsbericht des Weltklimarates und weiteren Studien aktualisiert worden. Es fasst in klarer und verständlicher Sprache die relevanten Zusammenhänge und die Folgen für Mensch und Natur zusammen. Ein eigenes Kapitel widmet sich den neuesten Entwicklungen in Deutschland. Herausgeber sind das Deutsche Klima-Konsortium, die Helmholtz-Klima-Initiative, der Deutsche Wetterdienst, die Deutsche Meteorologische Gesellschaft, der ExtremWetterKongress Hamburg und klimafakten.de.

Mehr zu diesem Thema (PDF): [go.fzj.de/faktenpapier-klimawissen](https://go.fzj.de/faktenpapier-klimawissen)

- INSTITUT FÜR ENERGIE- UND KLIMAFORSCHUNG -

SUPERCOMPUTING

## Erster europäischer Exascale-Rechner

Das Forschungszentrum Jülich wird Standort des ersten europäischen Exascale-Rechners. Das hat die europäische Supercomputing-Initiative EuroHPC JU entschieden. Der Supercomputer soll die Grenze von 1 Trillion Rechenoperationen pro Sekunde überschreiten und dazu beitragen, Lösungen zum Klimawandel, zur Bewältigung von Pandemien und zur nachhaltigen Energieerzeugung zu entwickeln. Ebenfalls vorgesehen: der Einsatz von Künstlicher Intelligenz sowie die Analyse großer Datenmengen.

Prof. Thomas Lippert und Prof. Estela Suarez erläutern die Herausforderungen eines Exascale-Systems:

[go.fzj.de/interview-exascale](https://go.fzj.de/interview-exascale)

- JÜLICH SUPERCOMPUTING CENTRE -



**„Mit seinen Demonstratoren zu innovativen Transport- und Speichertechnologien für Wasserstoff wird das Helmholtz-Cluster HC-H2 zu einem Kern für neue unternehmerische Aktivitäten im Rheinischen Revier.“**

Prof. Peter Wasserscheid, Sprecher des Helmholtz-Clusters Wasserstoff HC-H2 anlässlich der feierlichen Eröffnung des Clusters im Brainery Park Jülich Mitte September



# Vernetzte Energie

In Zukunft werden wir viele verteilte Energiesysteme nutzen, um unseren Bedarf zu decken. Dabei wird es unumgänglich sein, alle Sektoren optimal miteinander zu koppeln. Wie das am effizientesten funktioniert, erproben Fachleute aus Jülich in der Praxis. Dazu verwandeln sie den eigenen Campus in ein Reallabor.

**A**uch in Zeiten knapper und teurer Energie muss man morgens im Winter nicht in einem kalten Büro sitzen“, sagt der Physiker Stefan Kassermann. „Wenn man zukünftig nach Jülich zur Arbeit kommt, dann ist die Heizung bereits angelaufen und das Zimmer behaglich warm – und das mit weniger Energieverbrauch.“ Dies wird in einzelnen Gebäuden bereits getestet und funktioniert, weil die Energie bedarfsgerecht genutzt wird. Der Schlüssel zur Effizienz: eine intelligente Vernetzung und weitestgehend automatisierte Steuerung.

„Genau das erproben wir derzeit im Realbetrieb auf dem Jülicher Campus“, so Kassermann, der wissenschaftliche Projektmanager des Jülicher Vorhabens

Living Lab Energy Campus (LLEC). Ziel des LLEC ist ein intelligentes Energiesystem, das Nachhaltigkeit, Wirtschaftlichkeit und Benutzerkomfort vereint.

Die Versorgung und der Verbrauch einzelner Büros ist aber nur ein Aspekt. „Wir wollen unter anwendungsnahen Bedingungen im LLEC erproben, wie Energie zukünftig innerhalb eines Stadtteils oder einer kleinen Siedlung effizient verteilt und genutzt werden kann. In Jülich arbeiten rund 7.000 Menschen, durchaus mit einer Kleinstadt vergleichbar. Es gibt hier Büros, Labore, verschiedene Nutzungsarten. Dadurch können wir unterschiedliche Szenarien im realen Umfeld nachstellen: vom Industriegebiet bis hin zur Wohngegend.“

← Bei ihm laufen die Fäden zusammen: Dr. Stefan Kassermann, wissenschaftlicher Projektmanager des Reallabors Living Lab Energy Campus.

→ Am Dashboard, das Ezima Ubachukwu mitentwickelt hat, können Nutzer:innen sich verschiedene Daten des Reallabors ansehen und zum Beispiel Einstellungen für ihr Büro vornehmen.





← 1,5 Megawatt Spitzenleistung liefern die Photovoltaik-Anlagen auf dem Campus (im Bild v.l.n.r.: Susanne Hoffmann, Simon Rottland und Dr. Andreas Gerber).

Im Moment ist die Energieversorgung fast überall in Deutschland noch geprägt von Großkraftwerken, die fossile Energieträger wie Kohle, Erdöl und Erdgas verfeuern, um Strom und Wärme zu gewinnen. Doch in Zukunft werden Wind- und Solarstrom das Energienetz dominieren – und damit viele kleine, dezentrale Erzeuger. Die Fachleute im LLEC möchten herausfinden, wie sich die Ströme und Flüsse zwischen den einzelnen Knotenpunkten des Netzes optimieren lassen und wie Strom- und Wärmeerzeugung besser miteinander verbunden werden können. „Man spricht hier auch von Sektorenkopplung. Ein gutes Beispiel dafür ist das Niedertemperaturnetz, das wir gerade auf dem Campus aufbauen. Es zeigt auch, wie bisher nicht berücksichtigte Quellen eingebunden werden können, sodass so wenig Energie wie möglich ungenutzt bleibt“, erklärt Kassellmann.

### HEIZEN MIT ABWÄRME

Das Niedertemperaturnetz soll in Zukunft das Jülich Supercomputing Centre (JSC) und acht umliegende Gebäude mit Heizwärme versorgen. Die Heizenergie stammt aus der Kühlung des Großrechners JUWELS. Wenn auf seinen Prozessoren hochkomplexe Simulationen ablaufen, gibt die Elektronik jede Menge Abwärme an das Kühlwasser ab. Die nun warme Flüssigkeit wird anschließend in das Niedertemperaturnetzwerk auf dem Campus geleitet und verteilt.

„Das Wasser hat eine Temperatur von knapp 40 Grad Celsius“, erklärt André Xhonneux vom Institut für Energie- und Klimaforschung (IEK-10), im LLEC verantwortlich für das Team „Software und Simulation“. Mit dem gerade mal handwarmen Wasser lässt sich zwar

**„Wenn das Stromnetz stark belastet ist, können wir die Wärmepumpen eine Zeit lang runterfahren, ohne den Wohlfühlbereich bei der Temperatur zu verlassen.“**

ANDRÉ XHONNEUX

der energieeffiziente Neubau ohne Probleme versorgen. Aber für die Heizungssysteme von älteren Gebäuden ist es zu kalt: „Sie benötigen bis zu 85 Grad Celsius heißes Wasser, um alle Räume ausreichend zu heizen. Deshalb bringen wir das Wasser mithilfe von Wärmepumpen auf diese Temperatur“, sagt der Maschinenbauingenieur. „So können wir auch die alten Heizungssysteme der Gebäude zunächst weiterverwenden.“

Das ist besonders wichtig, um die am LLEC gewonnenen Erkenntnisse auf städtische Quartiere übertragen zu können. Auch dort muss mit Bestandsgebäuden gearbeitet werden, die auf die Schnelle nicht aufwendig umgerüstet werden können. Die Abwärme könnte dort von Firmen und Betrieben stammen: „Hier in der Region zum Beispiel kommt dafür die Zuckerfabrik Jülich infrage. Darüber hinaus gibt es aber noch zig ungenutzte

Quellen, die sich über das deutsche Wärmekataster ermitteln lassen.“

Ein weiterer Vorteil: Da die Wärmepumpen die Sektoren Strom und Wärme miteinander koppeln, kann das System auch das Stromnetz stabilisieren: „Ein Zimmer kühlt nicht sofort aus, wenn es nicht rund um die Uhr geheizt wird. Wenn das Stromnetz stark belastet ist, können wir Strom sparen, indem wir die Wärmepumpen eine Zeit lang runterfahren, ohne den Wohlfühlbereich bei der Temperatur zu verlassen“, erläutert Xhonneux. Starke Belastungen im Stromnetz können zum Beispiel auftreten, wenn das Angebot an Erneuerbaren Energien knapp ist.

„Wir haben auf dem Campus Photovoltaik-Anlagen installiert. Mit ihnen können wir auf eine Spitzenleistung von anderthalb Megawatt zurückgreifen. Verglichen mit dem Gesamtverbrauch der Einrichtung ist das zwar nur ein kleiner Anteil. Aber für unsere Forschungszwecke ist das nahe genug an der Realität“, sagt Stefan Kasselmann.

Ein Teil der Solarmodule steht auf einer Freifläche, der Rest verteilt sich auf verschiedene Gebäude auf dem Campus. „Bei Neubauten lassen sich die Anlagen einfach integrieren“, erläutert Andreas Gerber vom IEK-5, LLEC-Teammanager für den Bereich Photovoltaik. „Entweder auf dem Dach, als halbtransparente Module in den Oberlichtern oder in der Fassade. Aber natürlich möchten wir auch weiterhin Bestandsgebäude damit ausstatten.“

Im Forschungszentrum hat sich das als Herausforderung erwiesen, da viele Dächer bereits Infrastruktur

für die darunterliegenden Labore tragen: Klimaanlage und Luftreinigungsanlagen etwa. Das sorgt für Verschattung. Und andere Dächer wurden auf eine so hohe Traglast nicht ausgelegt. In einem urbanen Gebiet könne das aber schon ganz anders aussehen: „Dort gibt es zwar meistens keine großen Freiflächen. Aber man kann zum Beispiel wunderbar die Überdachung eines Parkplatzes oder verstärkt die Dächer von Einkaufszentren und Industrieanlagen nutzen. Geprüft werden daher auch für unseren Campus neuartige Photovoltaik-Leichtbausysteme.“

## SCHÜLERLABOR ALS VORREITER

Ein Gebäude, das in Jülich bereits umgerüstet wurde, ist das Schülerlabor JuLab. Seine Dachterrasse trägt eine Photovoltaik-Pergola aus halbtransparenten Modulen und eine Photovoltaik-Dachanlage. Und gleich nebenan dreht sich der Rotor einer kleinen Windenergieanlage. „Hier haben wir ein LLEC im Kleinen aufgebaut. Da werden wichtige Komponenten des Systems vorab erprobt, bevor die Technologien in einem größeren Maßstab auf dem Campus eingesetzt werden“, erklärt Kasselmann.

So sind die Konferenzräume mit speziellen Sensoren ausgerüstet: Sie erkennen zum Beispiel, wie viele Menschen sich in dem Zimmer aufhalten. „Allein durch die Körperwärme heizt sich ein Raum langsam auf“, sagt der Physiker, „entsprechend wird automatisch die Heizung heruntergeregelt. Das spart Heizenergie, ohne dass es bemerkt wird.“

Sensoren messen nicht nur die Temperatur der Zimmer und der Heizung, sondern auch Daten wie die CO<sub>2</sub>-Konzentration, die Luftfeuchtigkeit, die Helligkeit und den

Das Niedertemperaturnetz, das Dr.-Ing. André Xhonneux mit aufbaut, versorgt Gebäude mit Wärme. Dafür nutzt es die Abwärme des Supercomputers JUWELS.



In ihrem Blog berichten die LLEC-Verantwortlichen über die Fortschritte des Projekts: [blogs.fz-juelich.de/llec](https://blogs.fz-juelich.de/llec)



Öffnungszustand der Türen und Fenster – nicht nur im JuLab, sondern auch in vielen weiteren Räumen des LLEC. Auch Informationen zum Wetter fließen ein.

Verarbeitet werden die Daten vom „Gehirn“ des LLEC. Die cloudbasierte Informations- und Kommunikationsplattform (IKT) mit ihrer Regelungssoftware sorgt für die richtige Balance der Energieströme zwischen den Knoten des Netzes. André Xhonneux: „Um optimale Ergebnisse zu erzielen, arbeiten wir mit einem ‚digitalen Zwilling‘ des gesamten Systems, mit einem mathematischen Modell der Gebäude und Anlagen des LLEC. Anhand einer Zielvorgabe und gewisser Rahmenbedingungen wird der Betrieb automatisch optimiert. Dabei werden auch die Nutzervorgaben berücksichtigt. Wenn sie den Thermostat hochregeln, wird das System die Temperatur nicht absenken.“

Eine Schnittstelle zu den Nutzern ist das „Energy Dashboard“, abrufbar über das Intranet. Auf dem Startbildschirm ist ein Lageplan des Forschungszentrums mit allen Gebäuden zu sehen: „Für jeden Standort können wir uns hier den Verbrauch anzeigen lassen“, sagt Stefan Kasselmann. „Damit möchten wir das Bewusstsein für den Umgang mit Energie stärken.“

Der nächste Schritt bestehe darin, dieses System auf einzelne Räume auszuweiten: „Dann kann sich jeder das Verbrauchsprofil und Komfortparameter des eigenen Büros anschauen und auch Einstellungen

vornehmen.“ Gleichzeitig soll durch ein Online-Planspiel energiesparendes Verhalten belohnt werden. Die Mitarbeitenden können dabei ein virtuelles Energiesystem für den Campus gestalten – und dabei sogar ihr reales Nutzungsverhalten einbringen. Denn nur wenn die Nutzer:innen mitmachen, lassen sich bedeutsame Effizienzgewinne realisieren.

## VERSCHIEDENE SPEICHERSYSTEME

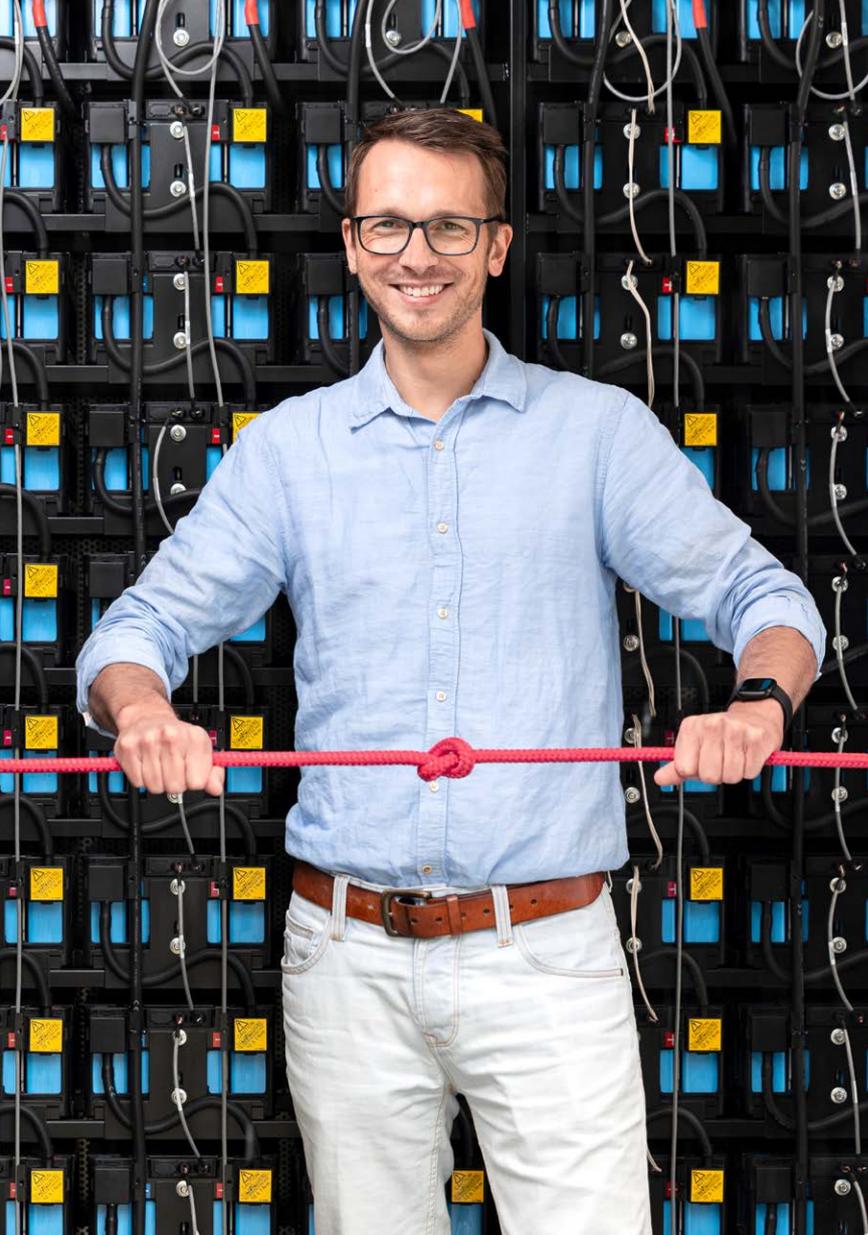
Sonne und Wind liefern nicht immer gleich viel Energie. „Wird mehr Strom erzeugt als benötigt, müssen wir diesen speichern – quasi für schlechte Zeiten. Dafür bauen wir im LLEC verschiedene Speichermöglichkeiten auf“, erläutert Stefan Kasselmann. „Wir können etwa die Elektrizität in zwei Großbatterien speichern oder künftig auch chemisch in Form von Wasserstoff. Mit dem Wasserstoff-Speichersystem lassen sich Dunkelflauten von Tagen oder sogar Wochen überbrücken.“

Der Wasserstoff wird mithilfe von Elektrolysezellen aus Wasser gewonnen. Danach kann er chemisch gespeichert werden, gebunden an eine organische Trägerflüssigkeit, den sogenannten Liquid Organic Hydrogen Carrier (LOHC). In Jülich wird dazu ein weltweit einmaliger Demonstrator aufgebaut. Vom LOHC kann der Wasserstoff bei Bedarf wieder gelöst werden.

Mit einer Brennstoffzelle lässt sich das Gas rückverstromen. „Aber wir könnten es auch verbrennen – und so einen Teil des Erdgases ersetzen, mit dem die auf dem



← Überschüssige Energie soll genutzt werden, um mithilfe eines Elektrolyseurs Wasserstoff herzustellen. Dr. Holger Janßen und seine Kolleg:innen arbeiten daran.



**„Die Hochleistungs-  
batterie eignet sich  
besonders zum sogenann-  
ten Peak-Shaving – also  
um kurzzeitige Schwan-  
kungen von Sekunden bis  
Minuten im Stromnetz  
auszugleichen.“**

LUC RAIJMAKERS

← Dr. Luc Raijmakers beschäftigt sich mit dem Speichern von Energie: Das LLEC hat zwei riesige Batterien mit einer Kapazität von insgesamt 3.125 Kilowattstunden angeschafft.

Campus errichtete Energiezentrale Strom, Wärme und Kälte erzeugen soll. Dem Wasserstoff kommt daher eine ganz zentrale Rolle für die Sektorenkopplung zu“, sagt Holger Janßen, Gruppenleiter Stacks und Systeme (Elektrolyse) am IEK-14.

Das andere Speichersystem, zwei stationäre Batteriesysteme auf Basis von Lithium-Ionen-Technologie, befindet sich in freistehenden Containern. „Sie besitzen unterschiedliche Charakteristika“, sagt Luc Raijmakers (IEK-9), LLEC-Teammanager für den Bereich Batteriesysteme. „Die Hochleistungsbatterie eignet sich besonders zum sogenannten Peak-Shaving – also um kurzzeitige Schwankungen von Sekunden bis Minuten im Stromnetz auszugleichen. Sie dient gleichzeitig als unterbrechungsfreie Stromversorgung. Außerdem steht eine Hochenergiebatterie zur Verfügung, die Pufferleistung über einen Zeitraum von Stunden bereitstellen kann.“

Im Hochleistungssystem sind jeweils zwölf einzelne Batteriezellen zu einem Modul zusammengefasst.

Diese Module bedecken dann eine komplette Wand im Container. Die besondere Herausforderung: „Die Zellen müssen alle gleichmäßig in einem bestimmten Spannungsbereich ge- und entladen werden“, erläutert Luc Raijmakers.

Und Stefan Kassmann ergänzt: „Wir haben bereits Ladensäulen für E-Fahrzeuge installiert, um das bidirektionale Laden zu erproben. Tagsüber, wenn das Fahrzeug auf dem Parkplatz steht und der Strombedarf hoch ist, kann somit zeitweise Energie aus der Fahrzeugbatterie zurück ins Netz gegeben werden, um dieses zu stabilisieren. Bei einer großen Anzahl an Fahrzeugen kann dies zukünftig einen signifikanten Beitrag liefern. Regulatorisch gibt es aber noch Hürden. Aber auch das ist eben der Vorteil eines Reallabors: Wir identifizieren neue Herausforderungen im Zusammenspiel von Wissenschaft, Technologie und Gesellschaft, auf die wir ohne direkten Bezug zur Praxis eher nicht gekommen wären.“

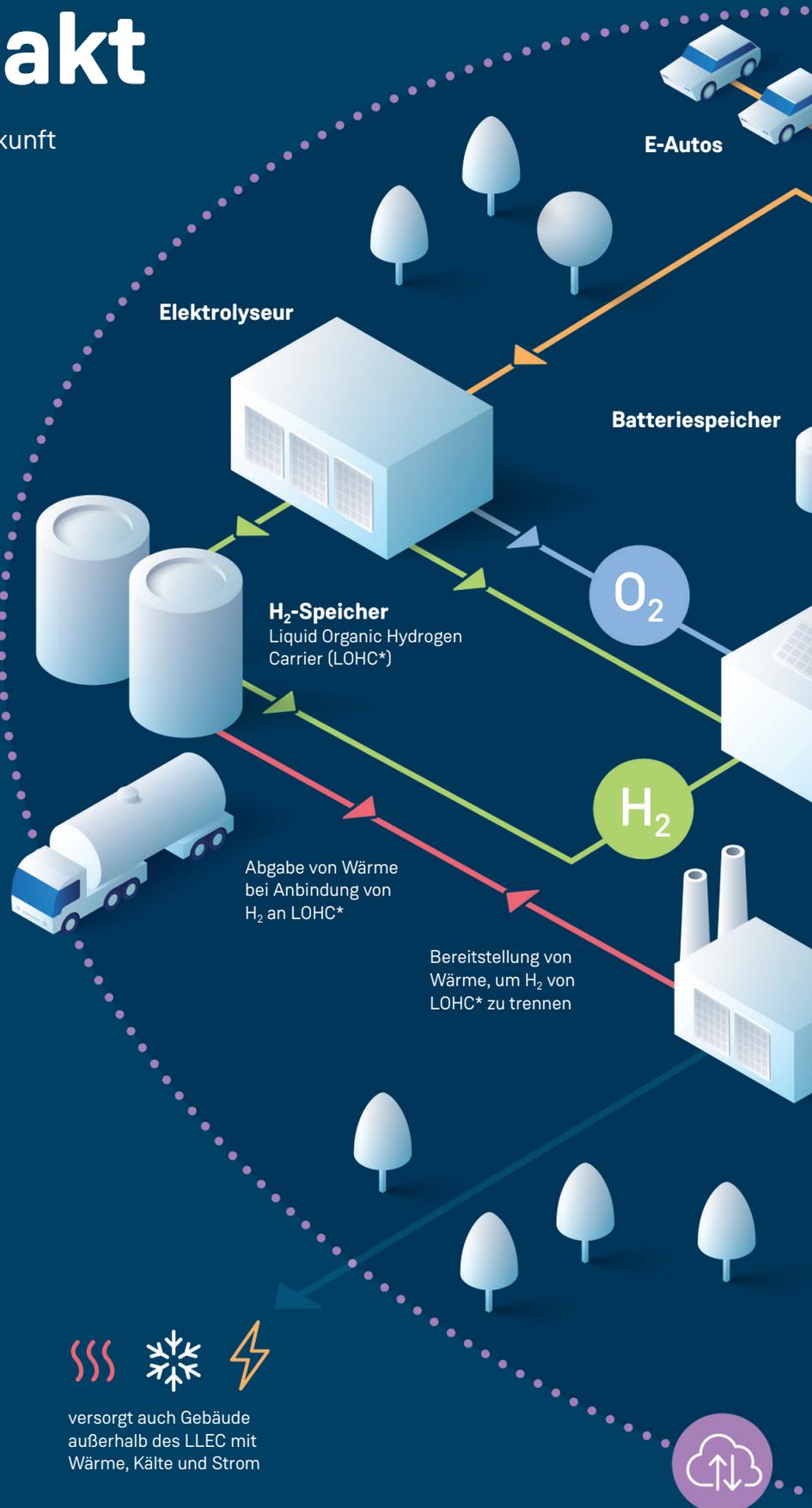
# LLEC kompakt

Ein intelligentes Energiesystem für die Zukunft

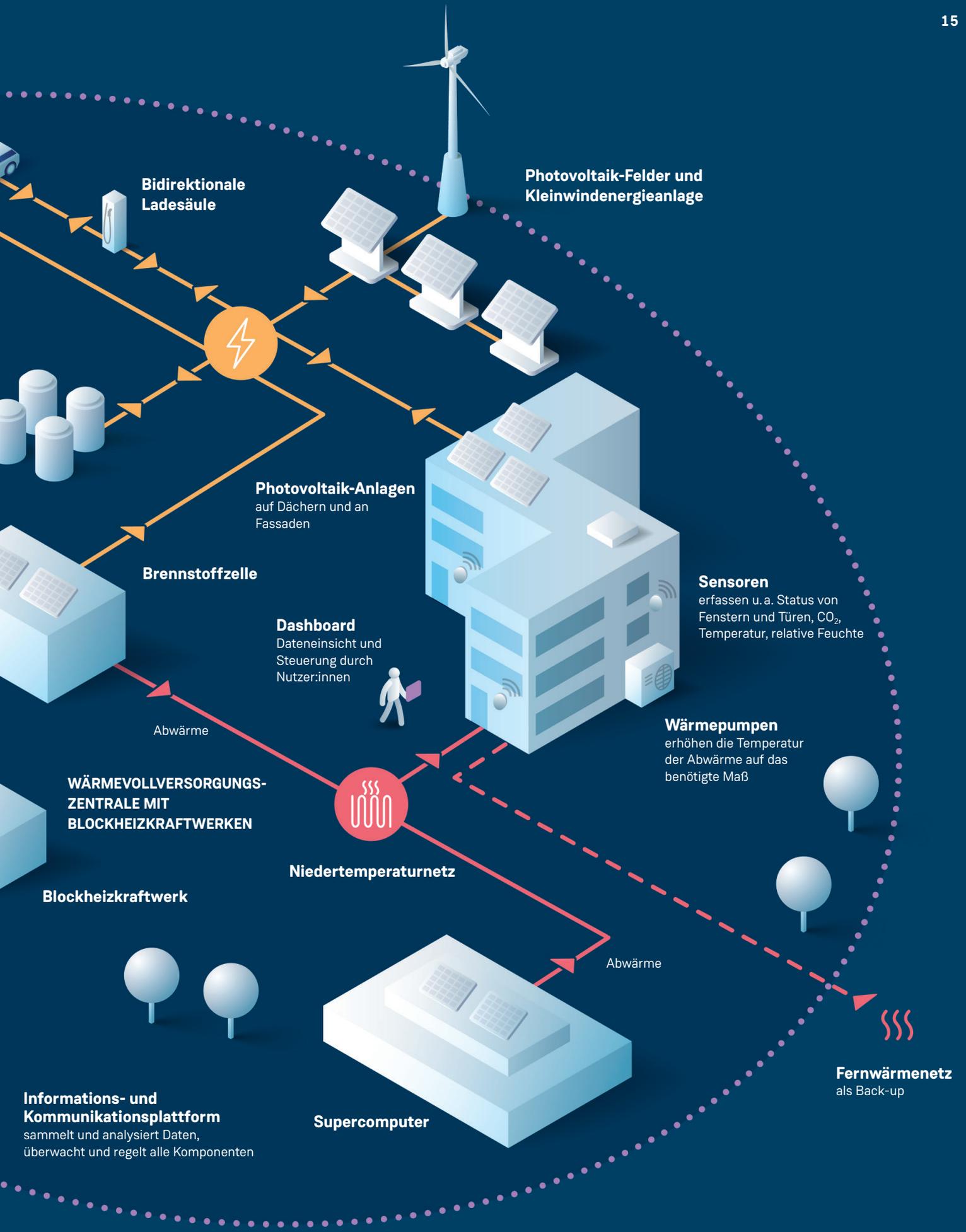
Im Living Lab Energy Campus (LLEC) geht es darum, ein zukunftsfähiges Energiesystem aufzubauen und unter realen Bedingungen zu testen. Kurz gesagt: Die Energiewende wird erprobt. Die mehr als zehn beteiligten Institute und Organisationseinheiten des Forschungszentrums wollen herausfinden, wie Technik, Energieträger und Verbrauch optimal gestaltet und aufeinander abgestimmt werden können. Die Erkenntnisse sollen als Blaupause für Wohn- und Industriegebiete genutzt werden.

Ein wesentlicher Faktor ist die Koppelung verschiedener Sektoren. Auf dem Jülicher Campus werden mithilfe unterschiedlicher Speichertechnologien Strom, Wärme und chemische Energie gekoppelt, auch der Sektor Mobilität wird eingebunden. Für sein Reallabor baut das Forschungszentrum seit 2018 nicht nur neue Technologien auf, es rüstet auch 20 bestehende Gebäude nach und integriert sie in das System.

Gehirn des Reallabors ist die Informations- und Kommunikationsplattform. Dahinter steckt ein intelligentes IT-System, dessen vorausschauende lernfähige Algorithmen die Energiesysteme regeln. Die intelligente Vernetzung und weitgehend automatische Steuerung auf Basis verschiedener Parameter – etwa Wetter und Lichteinfall, aber auch Luftfeuchtigkeit und Personenzahl in einem Raum – ist entscheidend, um die Sektoren optimal zu koppeln, Energie so effizient wie möglich zu nutzen und den Verbrauch zu reduzieren. Ein Großteil der Technik und Geräte des LLEC, das die Bundesregierung, das Land Nordrhein-Westfalen und die Helmholtz-Gemeinschaft fördern, steht bereits. Ende 2023 sollen alle Komponenten in Betrieb sein, ein klimaneutraler Verwaltungsneubau soll Ende 2024 fertiggestellt sein.



\* LOHC: flüssiges Speichermedium für H<sub>2</sub>. Es kann das Gas durch chemische Reaktionen aufnehmen und auch wieder abgeben.



# Sauber geschätzt!

Dreckige Luft gefährdet die Gesundheit. Aus welchen Quellen die Luftschadstoffe stammen, ist größtenteils bekannt, wie viel die Quellen emittieren, wird aber geschätzt.

Forscher:innen aus Jülich haben diese Schätzungen überprüft. Sie liefern damit auch ein wichtiges Werkzeug, um Maßnahmen zu identifizieren, die die Luftqualität verbessern.



**D**er Dieselskandal, Kritik an Messstellen oder Klagen wegen Überschreitung der Grenzwerte – das Thema Luftqualität sorgt immer wieder für Aufregung. Doch auch wenn in Deutschland die Belastung etwa mit Feinstaub und Stickstoffdioxid (NO<sub>2</sub>) seit Jahren sinkt, werden Bund und Länder ihre Maßnahmen wohl verschärfen müssen. Im Oktober 2022 hat die EU-Kommission strengere Grenzwerte vorgeschlagen. Treten diese ab 2030 in Kraft, wären die Schadstoffbelastungen an vielen Orten zu hoch.

Rund 600 Messstellen vom Umweltbundesamt (UBA) und von den Bundesländern gibt es. Sie bestimmen neben den Mengen an Feinstaub und NO<sub>2</sub> etwa auch Ozon, Kohlenmonoxid sowie Schwefeldioxid. Die meisten stehen in Ballungsräumen, wo die Belastung für die Menschen sehr hoch ist. Sie messen allerdings nicht, woher die Schadstoffe kommen und wie viel eine Quelle emittiert. Den Zusammenhang zwischen Emission und gemessenen Schadstoffen zu verstehen, ist aber entscheidend. Er ist die Grundlage, um sinnvolle Maßnahmen zu treffen, die die Luftqualität verbessern. Das UBA schätzt daher die Emissionsmengen auf der Basis vieler verschiedener Daten zu Schadstoffquellen: etwa der Zahl der Haushalte und womit diese heizen, der Verkehrsdichte oder welche Industrie vor Ort ansässig ist. Es fließen dabei nicht

nur Angaben von Behörden ein, sondern auch von Firmen, etwa von Autoherstellern zum Schadstoffausstoß ihrer Fahrzeuge.

Wie gut die Schätzungen sind, haben Jülicher Atmosphärenforscher:innen im Auftrag des UBA überprüft. Verwendet haben sie dafür das von ihnen entwickelte, komplexe Rechenmodell EURAD-IM (siehe Kasten). „Unser Chemie-Transportmodell berücksichtigt mehr als 100 verschiedene chemische Verbindungen in der Luft und wie diese miteinander reagieren,“ sagt Dr. Anne Caroline Lange vom Institut für Energie- und Klimaforschung (IEK-8).

## ZURÜCK ZUR QUELLE VERFOLGEN

Der größte Vorteil des Modells: „Wir können damit quasi rückwärts rechnen. Wir starten zum Beispiel mit der gemessenen Konzentration von Stickoxiden an einem Punkt. Das Modell berechnet dann auf der Basis von meteorologischen Daten und den bekannten Reaktionen von Stickoxiden in der Luft ihren Weg, ihre Verteilung und ihre Reaktion mit anderen Stoffen.“ Diese simulierten Emissionsdaten können die Forscher:innen dann mit den geschätzten Emissionsdaten des UBA vergleichen.

Für die erste Überprüfung hatten sich die Jülicher:innen zunächst auf das Jahr 2016 beschränkt. „Wir haben

← Anne Caroline Lange hat sich auf Luftqualität und Modellierung der Atmosphärenchemie spezialisiert.



Chemie-Transport-Modellen kontrolliert werden, ob diese zu ähnlichen Ergebnissen kommen. Denn die Simulationen können nicht nur prüfen, wie gut die Abschätzungen sind, sie können Politik und Behörden auch helfen zu entscheiden, welche Maßnahmen zielführend sind, um die Luftqualität zu verbessern.

Mit dem vorliegenden Bericht über das Jahr 2016 kann das UBA aber schon jetzt analysieren, wie sich die räumliche Verteilung der Schadstoffe künftig besser abschätzen lässt. „Eventuell müssen Ausgangsinformationen regional differenzierter betrachtet werden, zum Beispiel in der Landwirtschaft: Welche Pflanzen werden in der Region angebaut und welche Dünger verwendet?“, so Lange. Dann können Maßnahmen, um neue Grenzwerte einzuhalten, auch gezielter geplant werden.

BARBARA SCHUNK / CHRISTIAN HOHLFELD

ein durchschnittliches Jahr gewählt, in dem sich der Klimawandel schon zeigt, es aber keine Extremereignisse gab, wie etwa Hitze, Dürre, Vulkanausbrüche oder Saharastaub“, so Lange. Zudem bedeutet bereits ein einzelnes Jahr enormen Rechenaufwand. „Wir haben für jeden Ort und Landkreis lediglich die durchschnittlichen Emissionen pro Jahr berechnet – bei einer Auflösung von 5 mal 5 Kilometern, aber selbst dafür benötigten Jülicher Supercomputer mehrere Monate.“

Die erfreuliche Nachricht: „Die Ergebnisse unserer Modellrechnungen stimmen gut mit den Emissionswerten überein, die das Umweltbundesamt ermittelt hat“, sagt Lange. Aber: „Die räumliche Verteilung der Schadstoffemissionen könnte noch präziser werden.“ Und es gab zunächst unerwartete Unstimmigkeiten, berichtet Lange: „Bei unseren Berechnungen kamen höhere Stickoxidemissionen heraus, als vom UBA geschätzt. Es stellte sich heraus, dass sich die Abweichung auf den Dieselskandal im Jahr 2016 zurückführen ließen: Die Abgasemissionen von Dieselfahrzeugen waren zum Teil deutlich höher als von den Herstellern angegeben. Diese Emissionen fehlten in der Schätzung des UBA, die zu Projektbeginn verfügbar war.“

Die Wissenschaftler:innen wollen nun die UBA-Schätzungen aus weiteren Jahren mit den Berechnungen ihres Modells vergleichen. Außerdem soll mit anderen



## Vorhersage der Luftqualität

EURAD-IM (EUROpean Air pollution Dispersion-Inverse Model) ist ein System zur Vorhersage und Analyse der Luftqualität. Das regionale Chemie-Transport-Modell berechnet, welche Gase und Aerosole in welchen Mengen in der unteren Atmosphärenschicht (Troposphäre) auftreten, und simuliert deren Ausbreitung. In die Berechnungen fließen tagesaktuell Wetterdaten und Daten von Satelliten sowie von Messstationen am Boden ein. Das ermöglicht 3-Tages-Vorhersagen der Luftqualität, die Jülicher Forscher:innen täglich online zur Verfügung stellen und der Europäischen Union zur Beratung übermitteln.

Das Modell kontrolliert die eigenen Vorhersagen kontinuierlich, indem es die berechneten Werte rückwirkend in Analysen mit den gemessenen Werten abgleicht und gegebenenfalls Parameter anpasst.



EURAD-IM Luftqualitätsvorhersagen:  
[go.fzj.de/eurad-im-luftqualitaetsvorhersage](https://go.fzj.de/eurad-im-luftqualitaetsvorhersage)

# Erfolgsmodell Netzwerk

Anstöße geben, neue Wege gehen, Kritik ernst nehmen – für die Neurowissenschaftlerin Katrin Amunts ist das die Basis, um die Forschung voranzubringen. Ebenso unentbehrlich für sie: der Austausch mit anderen. In ihrem aktuellen Vorhaben geht sie dafür neue Wege.

**S**ie zählt zu den international wichtigsten Vertreter:innen der interdisziplinären Hirnforschung: Prof. Katrin Amunts, Direktorin des Instituts für Neurowissenschaften und Medizin (INM-1) am Forschungszentrum Jülich sowie des Cécile und Oskar Vogt Instituts für Hirnforschung an der Heinrich-Heine-Universität Düsseldorf. „Weltweit nutzen Expertinnen und Experten aus Forschung und Medizin ihre Erkenntnisse im Bereich des Brain Mappings“, unterstrich die nordrhein-westfälische Wissenschaftsministerin Isabel Pfeiffer-Poensgen bei der Verleihung des Bundesverdienstkreuzes 1. Klasse an Katrin Amunts im März 2022.

Nur wenige Wochen zuvor wurde Katrin Amunts der Hector Wissenschaftspreis verliehen: „Diese Anerkennungen geben Zuversicht und stärken den Rücken, um weiterzumachen. Aber ich sehe die Auszeichnungen vor allem als Verdienst der beteiligten Teams. Und das meine ich ganz ernst, denn solch einen Atlas kann man nicht alleine machen“, betont die gebürtige Potsdamerin.

Ruhm und Ehre stehen bei Katrin Amunts ohnehin nicht im Vordergrund, ihr Motor ist der Wunsch, exzellente Wissenschaft zu betreiben. Sie will mit ihrer Forschung einen gesamtgesellschaftlichen Auftrag erfüllen: nämlich dazu beitragen, das Hirn mit seinen 86 Milliarden Neuronen und Billionen von Kontaktpunkten besser zu verstehen. Dieses Wissen soll helfen, beispielsweise den Verlauf von neurodegenerativen Erkrankungen wie Parkinson oder Alzheimer besser vorherzusagen oder sie gar zu heilen.

Gerade erst hat sie mit ihrem Kollegen Prof. Markus Axer vom INM-1 ein gemeinsames Paper zur Konnektivität im Gehirn in einer Spezialausgabe der Fachzeitschrift „Science“ veröffentlicht. Das Magazin ist zur Neuroscience 2022 im November erschienen, einer Tagung in San Diego, USA, bei der sich jedes Jahr rund 150.000 Neurowissenschaftler:in-

nen treffen, um die neuesten wissenschaftlichen Entwicklungen zu diskutieren.

„Wir erläutern in ‚Science‘, wie unser Gehirn vernetzt ist, angefangen von den Kontaktstellen einzelner Nervenzellen bis hin zu Verbindungen zwischen verschiedenen Hirnregionen – und welcher Methoden es bedarf, um diese verschachtelte Organisation zu verstehen“, erklärt Katrin Amunts.

Wichtige Daten liefert dabei eine einzigartige Methode, die das Team in Jülich entwickelt hat: dreidimensionales Polarized Light Imaging (PLI). Damit lassen sich die länglichen Fortsätze von Nervenzellen, die sogenannten Axone, in hoher Auflösung visualisieren und untersuchen. Die Information über deren Verlauf fehlte bislang, ist aber entscheidend für die Verschaltung im Netzwerk. PLI ist Teil der digitalen Forschungsinfrastruktur EBRAINS, die im Human Brain Project (HBP) entstanden ist. EBRAINS vereint Daten und Werkzeuge zur Analyse und Simulation des Gehirns und bietet Forschenden weltweit freien Zugriff darauf.

**„Wer Kritik nicht ernst nimmt, begibt sich auf den falschen Weg.“**

KATRIN AMUNTS

„Diese Datenfülle und die entwickelten Methoden waren auch für den Science-Beitrag wichtige Grundlage, was einmal mehr belegt, dass das HBP international exzellente Wissenschaft

ermöglicht“, betont Amunts. In 2023 läuft dessen EU-Förderung aus. Was bleibt: „Das HBP hinterlässt nicht nur wichtige Erkenntnisse und mit EBRAINS eine öffentlich zugängliche Infrastruktur, sondern auch eine Community, die in dieser Weise sonst nicht zusammengefunden hätte.“

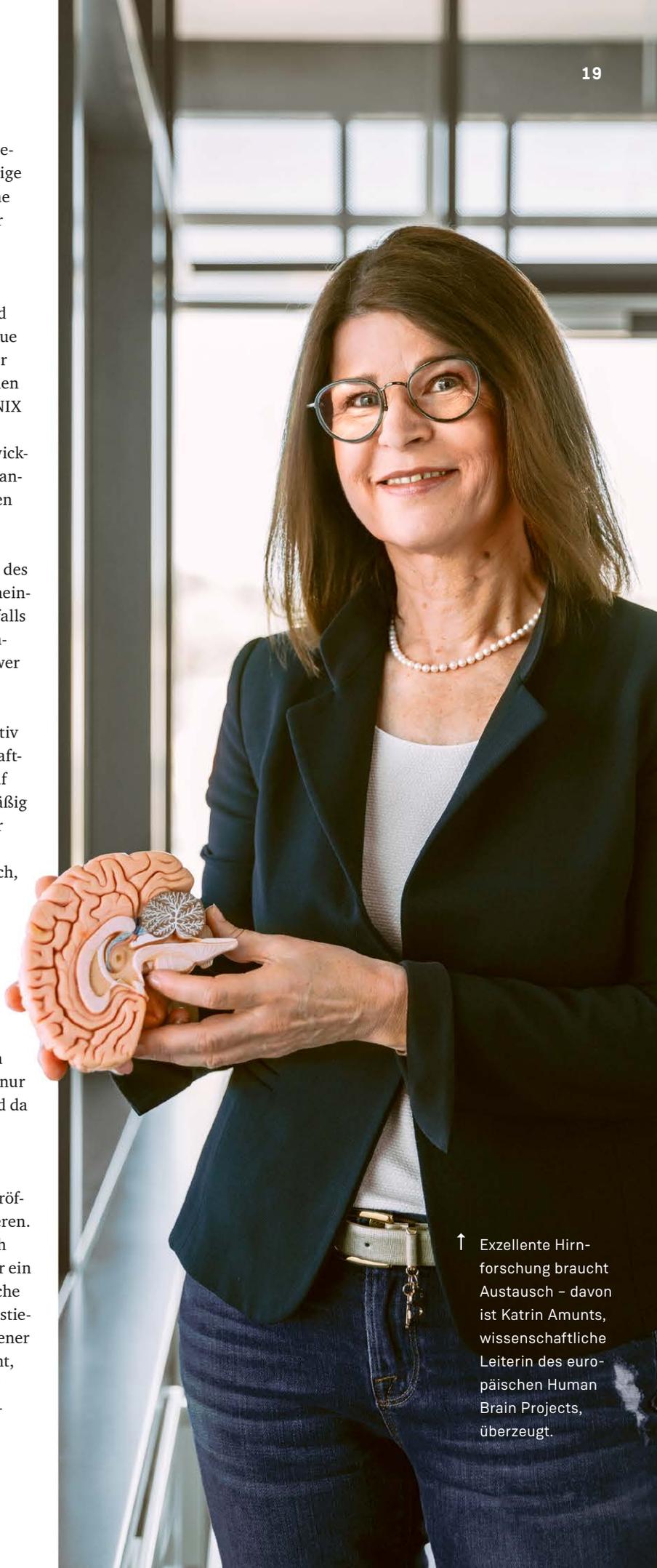
Und noch ein großes Verdienst komme dem HBP zu. Es habe entscheidend dazu beigetragen, Supercomputing und Neurowissenschaften zusammenzubringen, und damit neue technische Voraussetzungen geschaffen, das Gehirn besser zu verstehen. Das sei außerdem ein wichtiger Impuls für den Aufbau des europäischen Supercomputing-Netzwerks FENIX gewesen, das eine Reihe von Daten- und Rechendiensten anbietet und die IT-Basis von EBRAINS ist. „Das sind Entwicklungen, die vor allem wir Neurowissenschaftler:innen vorangetrieben haben. Wir sind stolz darauf, den Anstoß gegeben zu haben“, resümiert die Wissenschaftlerin.

Durch FENIX soll den Hirnforschenden sogar die Nutzung des neuen Jülicher Exascale-Computers möglich werden. Gemeinsam mit JSC-Direktor Thomas Lippert hatte Amunts ebenfalls in einem ‚Science‘-Paper bereits vor einem Jahr darauf hingewiesen, dass die Forschung am Gehirn diese Rechenpower brauchen wird.

Anstöße geben und neue Wege gehen, aber auch konstruktiv mit Kritik umgehen – für Katrin Amunts ist das wissenschaftlicher Alltag: „Wer Kritik nicht ernst nimmt, begibt sich auf den falschen Weg.“ Amunts ist es deshalb wichtig, regelmäßig einen Schritt zurückzutreten und eine Fragestellung unter einem anderen Blickwinkel zu betrachten. Dabei ist der Austausch mit ihrem Team unentbehrlich – sowohl in Jülich, Düsseldorf als auch international im HBP.

Einen völlig neuen Weg in Sachen Austausch hat Amunts als Erstautorin eines sogenannten Living Papers eingeschlagen, ein offenes und öffentliches Paper, an dem sich nicht nur das eigene Team, sondern die gesamte Hirnforschungs-Community beteiligen kann: „Wir hatten im HBP überlegt, was die kommenden Herausforderungen in der Hirnforschung sind – und wollten diese Frage nicht nur innerhalb des HBP diskutieren, sondern international. Und da kam die Idee des Living Papers auf“, erzählt Amunts.

Seit März 2022 sind Forscherinnen und Forscher weltweit eingeladen, das auf der Open-Access-Plattform Zenodo veröffentlichte Positionspapier zu ergänzen oder zu kommentieren. „Jeder kann es lesen, jeder kann sagen, was vielleicht noch fehlt“, so Amunts. Die Rückmeldungen sind manchmal nur ein paar Zeilen lang, dann wieder fünf Seiten. Die ursprüngliche Autorenzahl ist von etwa einem Dutzend auf über 70 angestiegen. Amunts bisheriges Fazit: „Das Living Paper ist ein offener Prozess – inklusive Diskussionen. Das ist nicht immer leicht, aber aus unserer Sicht der richtige Weg, um Offenheit und Transparenz zu erzeugen, um die Weichen für die Hirnforschung im kommenden Jahrzehnt zu stellen.“



↑ Exzellente Hirnforschung braucht Austausch – davon ist Katrin Amunts, wissenschaftliche Leiterin des europäischen Human Brain Projects, überzeugt.

# Parkinson-Puzzleteil gefunden

Die Parkinson-Krankheit beginnt kaum merklich im Gehirn und wirkt sich nach und nach auf den ganzen Körper aus. Forscher:innen haben in einer Langzeitstudie Muster gefunden, wie die Krankheit über die Jahre das regionale Gehirnvolumen verändert.

Bei der neurodegenerativen Erkrankung Morbus Parkinson werden Nervenzellen aus unbekannten Gründen in bestimmten Hirnregionen abgebaut. „Die Forschung zu Parkinson ist wie ein riesiges Puzzle, jede Studie liefert ein neues Teil. Hoffentlich können wir eines Tages die Teile zusammensetzen, um die Krankheit zu heilen oder ihr vorzubeugen“, sagt Dr. Peter Pieperhoff vom Institut für Neurowissenschaften und Medizin (INM-1). Gemeinsam mit Kolleg:innen aus Jülich, von der Heinrich-Heine-Universität Düsseldorf und dem Klinikum Ernst von Bergmann in Potsdam hat er ein weiteres Puzzleteil hinzugefügt: Sie fanden ein spezifisches regionales Muster von Volumenänderungen im Gehirn von Parkinson-Patienten. Die Wissenschaftler:innen konnten außerdem nachweisen, dass es einen Zusammenhang zwischen der Abnahme des Hirnvolumens in bestimmten Bereichen und dem Fortschreiten der für Parkinson typischen Symptome gibt.

Für ihre Studie hatten die Forscher:innen seit 2005 insgesamt 37 Parkinson-Patienten und 27 gesunde Menschen untersucht: Mithilfe der Magnetresonanztomographie wurden deren Gehirnvolumina an bis zu 15 unterschiedlichen

Zeitpunkten in einem Zeitraum von bis zu fast neun Jahren bestimmt. „Frühere Studien hatten die Volumina entweder nur zu weniger Zeitpunkten oder über kürzere Zeiträume untersucht“, erklärt Pieperhoff. Die regionalen Veränderungen der Gehirnstruktur berechneten die Forschenden mithilfe neuroanatomischer Atlanten wie dem Jülich Brain Atlas. „Am Ende konnten wir ein sehr spezifisches Muster von Volumenänderungen bei den Erkrankten erkennen. Dieses Muster unterschied sich im Laufe der Zeit immer deutlicher von dem der gesunden alternden Probanden“, berichtet Pieperhoff.

Gleichzeitig bestätigten die Ergebnisse eine Studie des Neuropathologen Prof. Heiko Braak aus dem Jahr 2003. Der hatte Gehirne von verstorbenen Parkinson-Patienten mikroskopisch untersucht und anhand der Daten den Krankheitsverlauf in sechs Stadien unterteilt: „Es gibt eine frappierende Übereinstimmung zwischen beiden Studien“, so Pieperhoff. Die Forscher:innen wollen nun die von ihnen entwickelten Methoden bei größeren Patientengruppen anwenden – in der Hoffnung, das nächste Puzzleteil zu finden.

KATJA LÜERS



↑ Peter Pieperhoff erforscht neurodegenerative Erkrankungen wie Alzheimer und Parkinson.



↑

## Woran forschen Sie gerade, Herr Islam?

**Muhammad Islam, Doktorand am Institut für Bio- und Geowissenschaften (IBG-3)**

„Ich untersuche, ob sich Weinbaugebiete eignen, um den Klimawandel zu verlangsamen – genauer gesagt, deren Böden. Böden sind der zweitgrößte Kohlenstoffspeicher der Erde. Wenn wir dort zusätzlich Kohlenstoff in Form von Kompost oder anderen organischen Substraten einarbeiten, könnte dieser langfristig gebunden werden und so die CO<sub>2</sub>-Konzentration in der Atmosphäre reduzieren. Böden von Weinbergen eignen sich potenziell, weil sie in größeren Tiefen nicht immer wieder bearbeitet werden und so der Kohlenstoff ungestört im Boden bleiben kann.“

Mehr zur Forschung von Muhammad Islam im Projekt VitiSoil: [go.fzj.de/co2-im-weinbergboden](https://go.fzj.de/co2-im-weinbergboden)

# Aus der Quantenwelt

Sie haben mit ihren bahnbrechenden Experimenten die Grundlagen für neue Quantentechnologien geschaffen und dafür 2022 den Physiknobelpreis erhalten: die Quantenforscher Prof. Alain Aspect, Prof. John Clauser und Prof. Anton Zeilinger. Nun geht es darum, die Möglichkeiten der Quantenwelt zu nutzen, wie etwa den Quantencomputer. Jülicher Wissenschaftler:innen haben verschiedene Ansätze gefunden, um leistungsfähigen Quantencomputern, die reale Probleme lösen, näher zu kommen.

## Entscheidendes Puzzleteil für den Sprung zu Millionen Qubits

Millionen von Quantenbits sind nötig, damit Quantencomputer praktische Aufgaben lösen können. Aktuelle Prototypen mit einigen wenigen Recheneinheiten auf Millionen Qubits zu skalieren, ist jedoch bisher ein Problem. Einerseits müssen die Qubits auf einem Chip nahe beieinanderliegen, um sie miteinander zu koppeln. Andererseits sollen sie auseinanderrücken, um Platz für die notwendige Steuer- und Messelektronik zu schaffen. Denn: Integrierte Elektronik ist aus Platzgründen sehr vorteilhaft, um Rechner mit Millionen Qubits zu bauen. Forschende des Forschungszentrums Jülich und der RWTH Aachen sind einer Lösung der beiden gegensätzlichen Anforderungen einen bedeutenden Schritt näher gekommen. Ihnen gelang es, Elektronen, die Träger der Quanteninformation, über mehrere Mikrometer auf einem Halbleiter-Quantenchip zu transportieren. Ihr „Quantenbus“ könnte das entscheidende Puzzleteil sein, um den möglichen Abstand zwischen den Qubits zu erhöhen und so den Sprung zu Millionen Qubits zu meistern.



Mehr dazu unter:  
[go.fzj.de/effzett-quanten-bus](https://go.fzj.de/effzett-quanten-bus)

Auf die Größe eines Tischgeräts  
geschrunpft: Kühlsystem (Mischkryostat)  
für die Entwicklung und zukünftigen  
Betrieb von Quantencomputern am  
JARA-Institut für Quanteninformation.

## Erstes Hybrid-Quantenbit auf Basis topologischer Isolatoren

Topologische Qubits könnten mit ihren besonderen Eigenschaften dem universell einsetzbaren Quantencomputer zum Durchbruch verhelfen. Bisher ließ sich aber noch kein Quantenbit, kurz Qubit, dieses Typs im Labor realisieren. Wissenschaftlern des Forschungszentrums Jülich ist nun aber ein wichtiger Teilerfolg geglückt. Ihnen gelang es erstmalig, einen topologischen Isolator in ein konventionelles supraleitendes Qubit zu integrieren – ein wichtiger Schritt auf dem Weg zum topologischen Quantencomputer.



Mehr dazu unter:  
[go.fzj.de/effzett-hybrid-qubit](https://go.fzj.de/effzett-hybrid-qubit)



## QUANTEN- COMPUTING



## Aufs Gleichgewicht kommt es an

Quantencomputerchips benötigen die richtige Mischung aus Ordnung und Unordnung. Das haben Forscher:innen im Exzellenzcluster Materie und Licht für Quanteninformation (ML4Q) herausgefunden, an dem auch Jülicher Wissenschaftler:innen beteiligt sind. Zu viel Ordnung wirkt sich auf die Chips ähnlich aus wie eine im Gleichschritt marschierende Menschenmenge auf eine Brücke: Es kommt zu Schwingungen, die die Konstruktion destabilisieren. Bei Chips lösen Kopplungen zwischen Qubit-Zuständen die Schwingungen aus, was die Quanteninformation zerstört. Daher sei es wichtig, bereits beim Chip-Design gezielt Qubit-zu-Qubit-Unvollkommenheiten einzuplanen.



Mehr dazu unter:  
[go.fzj.de/unordnung-quantenchips](https://go.fzj.de/unordnung-quantenchips)



# 100

## Qubits ...

... mindestens hat ein Quantensimulator, der mit dem Supercomputer JUWELS am Forschungszentrum gekoppelt wird. Er ist einer von zwei Quantensimulatoren des französischen Start-up-Unternehmens PASQAL, die im EU-Projekt „High-Performance Computer and Quantum Simulator hybrid“ (HPCQS) mit einem Höchstleistungsrechner verbunden werden. Der zweite Simulator wird mit dem französischen Supercomputer JOLIOT-CURIE verknüpft. Solche Hybridrechner gelten als Meilenstein, um Quantencomputer für praktische Anwendungen zu nutzen.



Mehr zur Jülicher Quantenforschung:  
[go.fzj.de/quanten](https://go.fzj.de/quanten)

# Durchbrüche in der Fehlerkorrektur

Quantencomputer sind deutlich anfälliger für Störungen als herkömmliche Rechner – und damit für Rechenfehler. Deren Korrektur ist eine wesentliche Hürde, um Quantencomputern zum Durchbruch zu verhelfen. Jülicher Forscher um Prof. Markus Müller vom Peter Grünberg Institut (PGI-2/IAS-3) und der RWTH Aachen haben in internationalen Teams zwei vielversprechende Lösungen entwickelt.

## Herr Prof. Müller, was sind das für Lösungen?

Zum einen hat ein internationales Team ein Verfahren auf einem supraleitenden Quantencomputer-Chip vorgestellt, das Fehler automatisch ausgleicht, während die Quanteninformation gespeichert wird. Das Besondere: Die Technik, die das Team um Prof. Andreas Wallraff von der ETH Zürich umgesetzt hat, erkennt und korrigiert beide grundlegenden Fehlerarten, den Bit-Flip und den Phasenfehler. Bisherige Verfahren konnten das nicht.

## Dieses Verfahren wurde als Meilenstein bezeichnet.

### Warum?

Dank dieser Technik können wir sicher sein, dass Ergebnisse unserer Quantenberechnungen korrekt, also tatsächlich praktisch nutzbar sind. Die Experimente an der ETH Zürich sind beeindruckend und bestätigen, wie groß das Potenzial von Quantenfehlerkorrekturtechniken ist.

## Wie funktioniert das Verfahren?

Eigentlich geht die Quanteninformation eines Qubits verloren, wenn man sie ausliest – also auch, wenn man nachsehen möchte, ob ein Fehler aufgetreten ist. Das Verfahren nutzt aber nicht einzelne Qubits, sondern mehrere zusammen. Dafür wurde ein Chip mit 17 supraleitenden Qubits entwickelt. 9 Qubits bilden ein sogenanntes logisches Qubit, also die Einheit, mit der ein fehlerkorrigierter Quantencomputer rechnet. Die übrigen acht Qubits spüren Fehler auf, ohne die im logischen Qubit gespeicherte Information durch den Auslesevorgang zu stören. Dazu werden sie wiederholt und schnell gemessen. Daraus lässt sich dann sehr gut ableiten, welche Fehler wo auf dem Chip aufgetreten sind. Die Auswirkungen der entdeckten Fehler lassen sich anschließend beheben.

## Was war Ihr Anteil an der Entwicklung?

Mein Team hat Charakterisierungstechniken beigesteuert, die wir bereits zuvor in unserer Gruppe erforscht hatten, etwa um die Qualität des logischen Qubits zu beurteilen. Unsere Techniken ermöglichten es auch, Fehler, die trotz der hohen Güte des Experiments gelegentlich auftreten können, ihrer Natur nach zu unterscheiden und zu bewerten.



## Und worum geht es bei der anderen Lösung?

Sie identifiziert Fehler schon während der Berechnungen des Quantencomputers. Gemeinsam mit Kollegen von der Universität Innsbruck haben wir gezeigt, wie ein Algorithmus auf einem Quantencomputer programmiert werden kann, damit auftretende Quantenfehler das Ergebnis der Berechnungen nicht verfälschen – also ein fehlertolerantes Quantenrechnen. Dafür haben wir zum ersten Mal ein universelles Set von Rechenoperationen auf zwei logischen Quantenbits eines Ionenfallen-Quantencomputers realisiert. Aus diesen Operationen lassen sich beliebige Quantenalgorithmen aufbauen – ein wichtiger Schritt, um fehlerkorrigierte Quantencomputer frei programmierbar und für verschiedenste praktische Problemstellungen nutzbar zu machen.

DIE FRAGEN STELLTE TOBIAS SCHLÖSSER.



Das ausführliche Interview finden Sie hier:

[go.fzj.de/fehlerkorrektur-supraleitende-qubits](https://go.fzj.de/fehlerkorrektur-supraleitende-qubits)

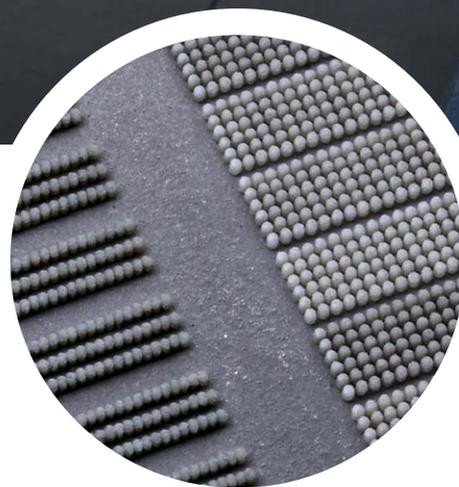


# Turbinen schneller reparieren

Ein neues Laser-Verfahren erzeugt mit wenig Aufwand schützende Keramikstrukturen.

**S**ie halten eine Menge aus: Dünne Keramikschichten schützen Bauteile in Turbinen von Flugzeugen oder Kraftwerken vor den heißen Temperaturen von um die 1.500 Grad Celsius, bei denen Kerosin oder Erdgas verbrannt wird. Doch nach Tausenden Betriebsstunden können Alterungsprozesse die Schichten beschädigen. Reparaturen sind aufwendig und teuer. Mit einem neuen Verfahren aus Jülich könnten kleine Schäden künftig einfach und schnell behoben werden.

Das Verfahren, das Dr. Christoph Vorkötter, Dr. Daniel Emil Mack und Martin Tandler vom Institut für Energie- und Klimaforschung (IEK-1) entwickelt haben, setzt auf Laser-Pulver-Auftragsschweißen. „Wir blasen ein Keramikpulver mit einem Argon-Gasstrahl auf eine Probe und schmelzen das Pulver mit einem Laserstrahl“, erläutert Vorkötter. Dabei bewegen sich der Laserstrahl und die Pulverzufuhr mit einer Geschwindigkeit von fünf Millimeter pro Sekunde von der Probenoberfläche weg. Auf diese Weise wachsen wenige Millimeter große, eng aneinander stehende Mikrosäulen. „Solche Säulenstrukturen bleiben auch bei hohen Temperaturen stabil und halten häufige Temperaturwechsel aus, wie sie in Gasturbinen auftreten.“



↑ Probe mit Mikrosäulen

Wir können die Säulen in verschiedenen Abmessungen herstellen und flexibel anordnen“, sagt Vorkötter.

Das neue Verfahren benötigt im Unterschied zu anderen Beschichtungsmethoden für Keramiken kein Vakuum. Es könnte aufgrund des niedrigen Energiebedarfs außerdem direkt am Standort einer Gasturbine genutzt werden. Die Forscher haben es bereits zum Patent angemeldet. Nun suchen sie Partner aus der Industrie.



# SYNAPSE

Synapse heißt die Stelle, an der eine Nervenzelle mit einer anderen Zelle in Kontakt steht. Ihre Aufgabe: Signale weiterleiten.

## SO FUNKTIONIERT ES



Ein Signal wandert als elektrischer Impuls in den fein verästelten Ausläufern der Zelle zur Synapse. Hier kann es an die Nachbarzelle weitergegeben werden.

Allerdings muss ein winziger Spalt überbrückt werden. Das übernehmen Moleküle, die Neurotransmitter. Durch das elektrische Signal freigesetzt, wandern sie zur Nachbarzelle.

Dort docken die Neurotransmitter an. Das erzeugt ein neues elektrisches Signal.

**1.000 BIS 100.000**  
Synapsen hat eine Zelle im Schnitt

Im Gehirn eines Erwachsenen gibt es etwa  
**100 BILLIONEN**  
Synapsen.

## LERNEN ...

... geht nicht ohne Synapsen: Üben verbessert die Weiterleitung der Signale und kann auch zum Bau weiterer Synapsen zwischen zwei Zellen führen.



## JÜLICHER FORSCHER:INNEN

... untersuchen Aufbau und Funktion von Synapsen im Gehirn. Sie entwickeln außerdem künstliche Synapsen für Computer nach dem Vorbild des Gehirns.



# GEFÄLLT UNS

---

KINDERFILM ZUR PHOTOVOLTAIK

## Fuchs und Hase machen schlau

Als die beiden Photovoltaik-Forschenden Nelli Hambach und Florian Seidler einen Weg suchten, um jungen Besucher:innen am Tag der Neugier des Forschungszentrums ihre Arbeit vorzustellen, wurde schnell klar: Die beiden müssen ihre Talente zusammenlegen. Entstanden ist ein Kinderfilm, für den die passionierte Aquarellmalerin die Bilder zeichnete und Hobbysänger Florian Seidler die Geschichte schrieb und einsprach. Das Ergebnis fand so viel Zuspruch, dass es nun Überlegungen gibt, den Film auch als Kinderbuch herauszugeben.

- GO.FZJ.DE/KINDERFILM -



KI VERFREMDET BILD

## Wähle einen Style

Wie würden Sie aussehen, wenn ein berühmter Künstler wie Edvard Munch oder Marc Chagall Sie gemalt hätte? Dank Künstlicher Intelligenz (KI) können Sie es ausprobieren: Laden Sie ein Foto auf der Website des Jülich Supercomputing Centre (JSC) hoch und die KI-Technik „Neural Style Transfer“ übernimmt. Die intelligenten Algorithmen verfremden das Bild so, dass der Stil eines anderen Bildes nachgeahmt wird. Zur Auswahl stehen unterschiedliche Werke bekannter Künstler. Die aufwendige Berechnung wird von einem künstlichen neuronalen Netz durchgeführt, das auf Rechnern des Supercomputing Centre läuft.

- STYL.R.FZ-JUELICH.DE -

AUSGEZEICHNETER INSTAGRAM-KANAL

## Klimapolitik kurz und knapp

Was hat die Klimakrise mit mir zu tun? Wie wichtig ist Atomstrom? Und welche Politiker machen ihre (Klima-)Hausaufgaben nicht? Der Instagram-Kanal Klima.neutral des WDR widmet sich in wechselnden Themenwochen drängenden Fragen der Klimakrise. Und das Motto „einfach erklärt, aber vielfältig und mit den Storys dahinter“ gefällt nicht nur uns: Die kurzweiligen Inhalte überzeugten auch die Jury des K3-Preises für Klimakommunikation. Beim Schweizer Wettbewerb belegte Klima.neutral den zweiten Platz.

- INSTAGRAM.COM/KLIMA.NEUTRAL -

# FORSCHUNG IN EINEM TWEET

Zweimal ausgezeichnet! Für die Entwicklung des Malaria-Sensors gab es den Innovationspreis des Landes Nordrhein-Westfalen und den Umbrella Award.



Der neue Biosensor kann Malaria mithilfe einer kleinen Blutprobe nachweisen. Er verrät sogar, wie hoch die Menge des Erregers ist. Entwickelt hat ihn die Jülicher Forscherin Dr. Gabriela Figueroa Miranda gemeinsam mit ihrem Team. Sie und ihre Kollegin Dr. Viviana Rincón Montes haben den Sensor zum Patent angemeldet und planen ein Start-up.

Der Innovationspreis NRW ist nach dem Zukunftspreis die höchst-dotierte Auszeichnung dieser Art in Deutschland. Die deutsch-israelische Umbrella-Kooperation zeichnet jedes Jahr herausragende Nachwuchswissenschaftler:innen aus.

[effzett.fz-juelich.de/3-21/mit-malariatest-zum-start-up](https://effzett.fz-juelich.de/3-21/mit-malariatest-zum-start-up)