

## Revier im Wandel

Die Kohle geht, neue Jobs und Branchen sollen kommen – mithilfe der Wissenschaft

### GESTÖRT

Fehlerhafte Qubits bremsen Quantenrechner

### ABGEFAHREN

Solarzellen sollen Autos klimafreundlicher machen

### ENTLARVT

Modell ermittelt Quellen für Phosphat in Gewässern



## Flippern für Fortgeschrittene

Hier kullern viele bunte Kugeln, statt nur einer aus Metall – im „Algenflipper“, der an Bord des Ausstellungsschiffs MS Wissenschaft zurzeit durch Deutschland tourt ([ms-wissenschaft.de](http://ms-wissenschaft.de)). Der Flipperautomat des Instituts für Bio- und Geowissenschaften (IBG-2) und des Bioökonomie Science Centers zeigt spielerisch, wie mithilfe von Algen Nährstoffe aus Abwässern zurückgewonnen werden können: Blaue, grüne und rote Kugeln, die Wasser und Nährstoffe darstellen, werden dabei über einen Algenrasen geleitet. Die Nährstoff-Kugeln bleiben hängen und können geerntet werden. Nach diesem Prinzip, dem AlgalTurfScrubbing, arbeiten Pilotanlagen im Gewächshaus und an der Kläranlage des Forschungszentrums.

Mehr zum Algenflipper und AlgalTurfScrubbing: [go.fzj.de/algenflipper](http://go.fzj.de/algenflipper)

**NACHRICHTEN****5****TITELTHEMA****Stadt, Land,  
Region**

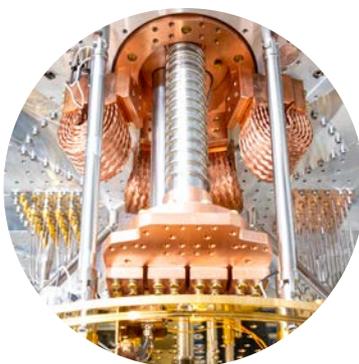
Wie das Forschungszentrum den Strukturwandel im Rheinischen Revier unterstützt.

**8****FORSCHUNG****Solarenergie  
macht mobil**

Mit Photovoltaik auf dem Dach klimafreundlicher Auto fahren.

**20****Ein Traum  
rückt näher**

Stefan Tautz beobachtet Elektronen in Zeitlupe.

**22****Störungen einfach  
ausblenden**

Quantencomputer sind noch sehr anfällig für Fehler – Jülicher Forschende arbeiten an Korrektursystemen.

**24****Modellieren für  
sauberes Wasser**

In deutschen Gewässern ist zu viel Phosphat. Ein Computermodell aus Jülich hilft, das zu ändern.

**26****Immer offen  
für Neues**

Silvia Daun arbeitet als Mathematikerin in der Hirnforschung – ein Interview.

**30****Lockdown als  
Real-Labor**

Die Corona-Pandemie hat der Klimaforschung einen unerwarteten Datenschatz beschert.

**32****RUBRIKEN****Aus der Redaktion**

4

**Impressum**

4

**Woran forschen  
Sie gerade?**

23

**Besserwissen**

34

**Gefällt uns**

35

**Forschung in einem  
Tweet**

36

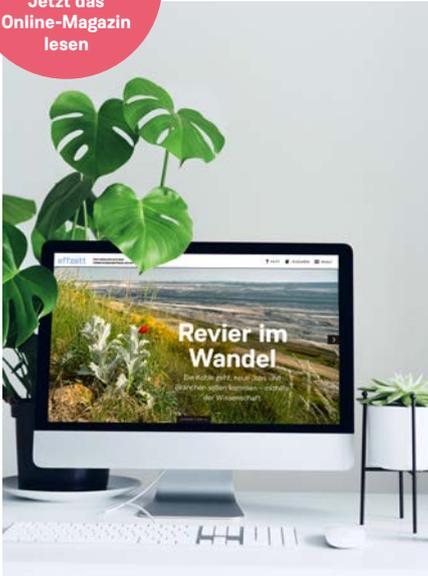
**BEILEGER**

Dieser Ausgabe liegt unsere Broschüre „Neues Denken, neue Chancen. Wie Forschung zum Strukturwandel beiträgt“ bei.

# Immer wieder Wandel

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)

Veränderungen prägen die Geschichte der Menschheit: Aus Jägern und Sammlern wurden sesshafte Bauern. Jahrhunderte nutzten wir Holz als Brennstoff, dann kamen Kohle, Gas und Öl. Wir ritten auf Pferden und ließen Ackergäule den Pflug über die Felder ziehen. Heute nutzen wir Autos und Maschinen. Für jede Veränderung gab es Gründe. So ist es auch mit dem Kohleausstieg. Klima-, Umwelt- und Gesundheitsschutz sowie begrenzte Vorräte sind gewichtige Argumente. Doch was kommt, wenn die Kohle geht? Gerade eine vom Kohleabbau geprägte Region wie das Rheinische Revier benötigt neue Ideen, um Wirtschaftskraft und Arbeitsplätze zu erhalten. Das Forschungszentrum Jülich möchte mit Innovationen aus der Wissenschaft Impulse für diesen Strukturwandel geben. Das fängt bei der Umwandlung der ehemaligen Tageläufigen an und reicht von nachhaltiger Landwirtschaft, Energieversorgung und Chemieindustrie bis hin zu Hightech-Industrie und einer biobasierten Kreislaufwirtschaft. Unsere Titelgeschichte lädt Sie ein, einige Orte und Ansätze des Wandels kennenzulernen.

In weiteren Beiträgen lesen Sie, wie Solarzellen Fahrzeuge klimafreundlicher machen können, sich Fehler in Quantencomputern korrigieren lassen und wie Simulationen aus Jülich helfen, den Phosphatgehalt in Gewässern in den Griff zu bekommen.

Viel Spaß beim Lesen  
wünscht Ihnen Ihre effzett-Redaktion

## Impressum

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

**Herausgeber:** Forschungszentrum Jülich GmbH, 52425 Jülich

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

**Autoren:** Marcel Bülow, Dr. Janosch Deeg, Dr. Frank Frick, Christian Hohlfeld, Katja Lüers, Dr. Regine Panknin, Dr. Arndt Reuning, Dr. Barbara Schunk, Tobias Schlößer, Brigitte Stahl-Busse, Erhard Zeiss.

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

**Bildnachweise:** Forschungszentrum Jülich/Sascha Kreklau (Titel, 3 li. und mittlere Spalte, 8-17, 23, 25, 26, 28 o., 31); Forschungszentrum Jülich/Ralf-Uwe Limbach (7 beide u., 20, 32, 36); Forschungszentrum Jülich/Ministerium für Energiewende, Landwirtschaft, Umwelt und ländliche Räume des Landes Schleswig-Holstein/Landesamt für Landwirtschaft, Umwelt und ländliche Räume Schleswig-Holstein (27); Forschungszentrum Jülich/SeitenPlan (28-29 (Illustration)); Alfred-Wegener Institut/Lianna Nixon, University of Colorado Boulder (CC-BY 4.0) (35); BayWa (19 re. o.); Warwick Bromley (6 u.); ISFH (21);

Diana Köhne (18-19 und 34 (Illustrationen)); Volker Lannert/Uni Bonn (6 o.); Philipps-Universität Marburg/Till Schürmann (22); SeitenPlan (8 (Karte), 28/29 u.); Uni Wuppertal/thavis gmbh (7 o.); Heiner Witte/Wissenschaft im Dialog (2); alle im Folgenden genannten Motive sind von Shutterstock.com: j.chizhe (4 (Montage: SeitenPlan)); Hamara (5 u.); Roman Samborskiy (24); Adisorn Saovadee (5 o.); spacezerocom (34 (Hinterlegung)); studio23 (3 re., 33)

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

**Druck:** Schloemer Gruppe GmbH

**Auflage:** 3.000

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



ATMOSPÄREN-CHEMIE

## Mehr Wissen zur Wolkenbildung

Ameisensäure und andere organische Säuren in der Atmosphäre tragen dazu bei, dass sich Aerosol-Partikel als Vorläufer von Regentropfen bilden. Sie beeinflussen somit die Wolkenbildung und unser Klima. Jülicher Forschende haben nun den chemischen Prozess entschlüsselt, bei dem der größte Teil der in der Atmosphäre vorhandenen Ameisensäure entsteht. Das ermöglicht es, Atmosphären- und Klimamodelle zu verbessern.

Link zum Blog: [blogs.fz-juelich.de/climateresearch](https://blogs.fz-juelich.de/climateresearch)

- INSTITUT FÜR ENERGIE- UND KLIMAFORSCHUNG -



HIRNFORSCHUNG

## Orte des Verfalls

Strukturelle Veränderungen des Gehirns, die Alzheimer und andere neurodegenerative Erkrankungen verursachen, beginnen nicht an willkürlichen Stellen. Sie breiten sich auch nicht wahllos aus. Stattdessen verlaufen sie entlang von funktionellen Netzwerken, die im gesunden Gehirn aktiv sind, wenn der Mensch beispielsweise liest oder Bewegungen ausführt. Herausgefunden hat das ein internationales Team unter Jülicher Beteiligung mittels einer Meta-Analyse, bei der die Forschenden mehrere Studien zum gleichen Thema statistisch auswerteten.

- INSTITUT FÜR NEUROWISSENSCHAFTEN UND MEDIZIN -





# 2,3

## Millionen Euro

erhält Prof. Ulf-G. Meißner als „Advanced Grant“ vom Europäischen Forschungsrat (ERC). Der Physiker, der in Jülich und Bonn forscht, beschäftigt sich mit der starken Wechselwirkung – eine Kraft, die unter anderem Neutronen und Protonen in Atomkernen zusammenhält. Mit der Förderung des ERC will er unter anderem erkunden, was passiert, wenn in Atomkernen die leichten Quarks, die Bestandteile von Neutronen und Protonen, durch Strange Quarks – auch seltsame Quarks genannt – ersetzt werden.

- INSTITUTE FOR ADVANCED SIMULATION -

## Verschränkte Atome

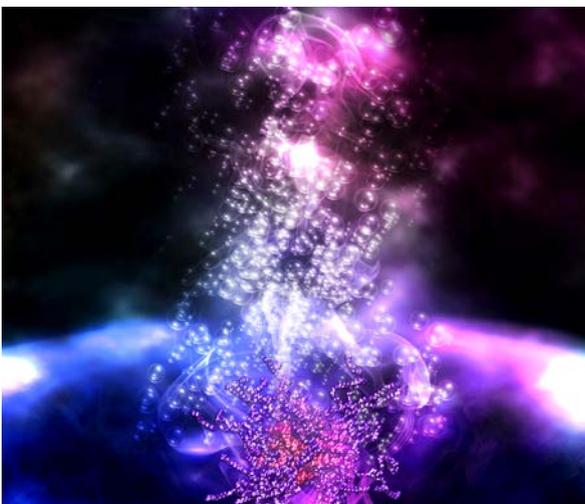
Kopf oder Zahl?

Wenn wir zwei Münzen in die Luft werfen, hat das Ergebnis des einen Münzwurfs nichts mit dem Ergebnis des anderen zu tun. Anders ist es bei Quantenteilchen:

Sie können verschränkt sein und lassen sich dann nur noch gemeinsam beschreiben.

Jülicher Forschenden ist es gemeinsam mit Partnern von der TU Wien gelungen, quantenverschränkte Atomstrahlen herzustellen. Diese könnten unter anderem helfen, künftig präzisere Sensoren etwa für Schwerkräftmessungen zu bauen.

- PETER GRÜNBERG INSTITUT -



STRUKTURBIOLOGIE

## Protein ohne Wasser

Proteine benötigen normalerweise Wasser, um ihre Funktion wie etwa den Transport von Sauerstoff auszuüben. Polymere – das sind langkettige Moleküle – können das Wasser ersetzen. Wie sich die Proteine in der ungewohnten Umgebung bewegen und steuern lassen, hat ein internationales Forschungsteam am Muskelprotein Myoglobin erkundet. Dafür nutzte es das Neutronen-Rückstreuungsspektrometer SPHERES, welches das Forschungszentrum Jülich am Heinz Maier-Leibnitz Zentrum in München betreibt. Die Protein-Polymer-Kombination könnte in der Medizin helfen, Zellen von Herzinfarkt-Patienten zu regenerieren.

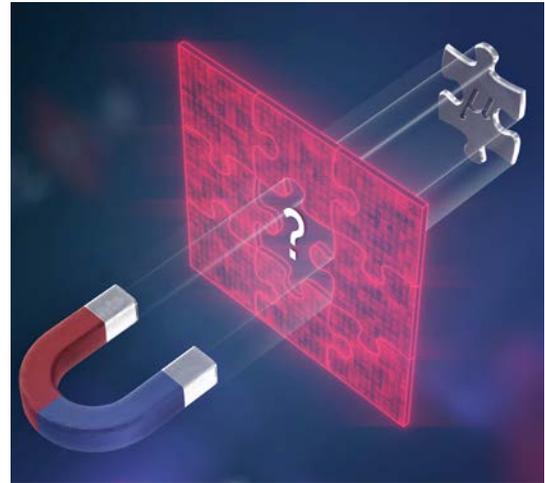
- JÜLICH CENTRE FOR NEUTRON SCIENCE -

## THEORETISCHE PHYSIK

## Kluft verringert, Rätsel geblieben

Das Myon gibt Physikerinnen und Physikern Rätsel auf. Das Elementarteilchen – ein kurzlebiger Cousin des Elektrons – erzeugt ein Magnetfeld um sich herum, dessen gemessener Wert größer ist als theoretisch erwartet. Die Fachwelt sieht darin einen Hinweis auf eine neue, unbekannte Physik. Doch die Kluft zwischen den beiden Werten ist vielleicht kleiner als bisher angenommen: Einzigartig präzise Berechnungen – zum größten Teil auf Jülicher Supercomputern – führten zu einem höheren theoretischen Wert. Davon unabhängige Messungen in den USA ergaben einen minimal geringeren experimentellen Wert. Weitere Untersuchungen müssen zeigen, ob die Werte weiter angepasst werden müssen und ob tatsächlich eine neue Physik hinter der Abweichung steckt.

- JÜLICH SUPERCOMPUTING CENTRE -



Mehr dazu im Interview mit Prof. Kalman Szabo:  
[go.fzj.de/Szabo](https://go.fzj.de/Szabo)



**„Mir ist es besonders wichtig, bestehende interdisziplinäre Schnittstellen auszubauen und neue zu finden. Vergessen darf man dabei aber nicht, die Disziplinen selbst zu stärken, damit auch diese weiterhin Großartiges leisten können.“**

DR. ASTRID LAMBRECHT

## Vorstand vollständig

Prof. Frauke Melchior und Dr. Astrid Lambrecht komplettieren den fünfköpfigen Jülicher Vorstand. Die Physikerin Astrid Lambrecht hat Anfang Juni ihr Amt angetreten. Vorher leitete die 54-Jährige in Paris den wissenschaftlichen Geschäftsbereich Physik des französischen Nationalen Zentrums für wissenschaftliche Forschung (CNRS). Sie bringt darüber hinaus viel Erfahrung aus zahlreichen internationalen Wissenschaftsorganisationen mit. Ihre Forschung zu Quantenfluktuationen und den dadurch angeregten Kräften erstreckt sich von den Grundlagen bis zur Anwendung.

Bereits seit April im Vorstandamt ist Prof. Frauke Melchior. Die 58-jährige Biochemikerin forschte als Professorin am Zentrum für Molekulare Biologie der Universität Heidelberg über die Steuerung zellulärer Prozesse durch das Protein SUMO. Als Mitglied im Senat der Deutschen Forschungsgemeinschaft (DFG) sowie als Dekanin an der Universität Heidelberg war sie auch im Wissenschaftsmanagement aktiv.



**„Die Nachwuchsförderung von Promovierenden bis zu befristeten Gruppenleiterinnen und -leitern hat mich jahrelang als Thema begleitet und liegt mir sehr am Herzen.“**

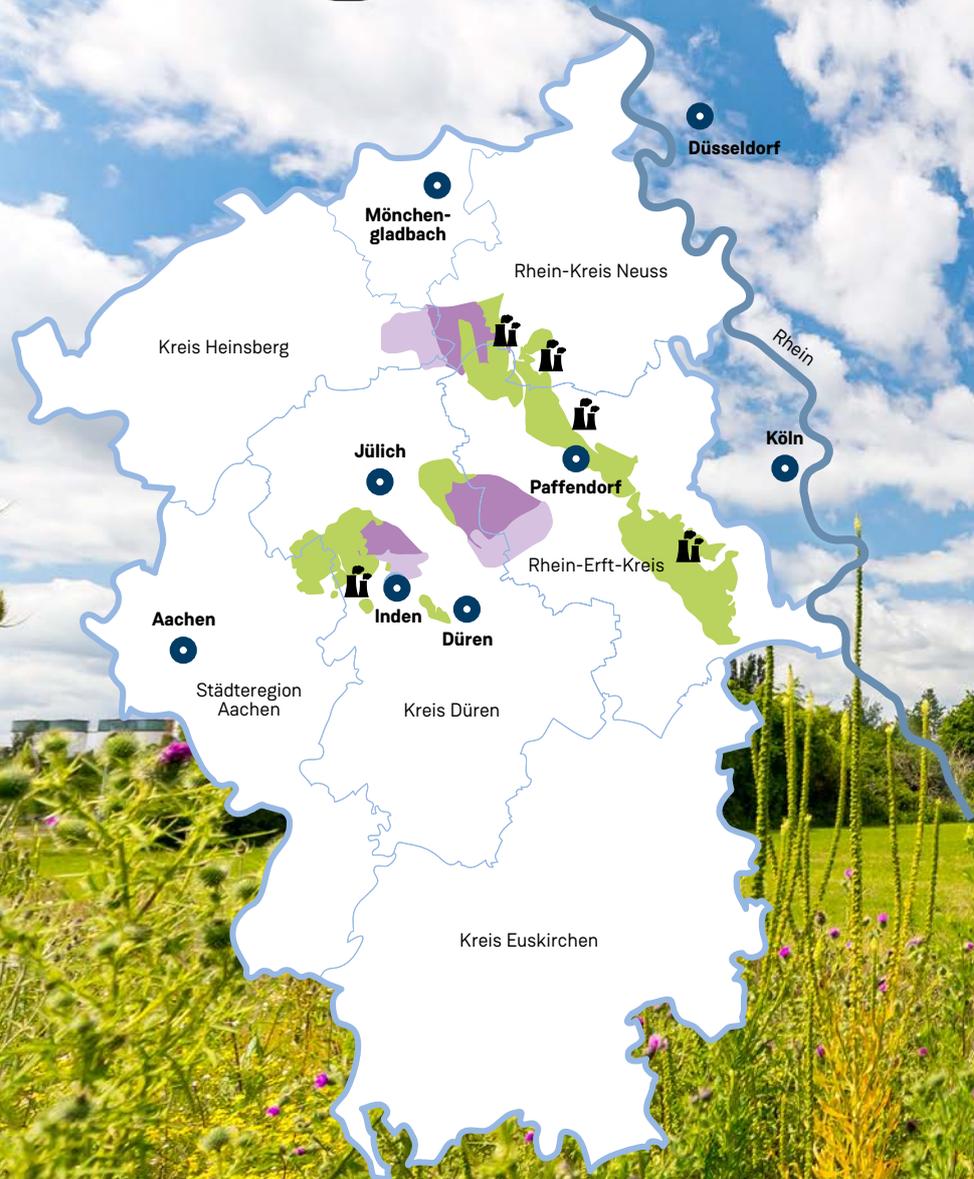
PROF. FRAUKE MELCHIOR

# Stadt, Land, Region



## Rheinisches Revier

- Reaktivierungsflächen
  - aktive Tagebaue
  - genehmigte Abbaugrenzen
  - Kraftwerksstandorte
- (Stand Juni 2021)



## Aufstieg und Fall der Braunkohle

**1738**

In Kierdorf graben Bauern erstmals planmäßig nach Braunkohle

1680 1690 1700 1710 1720 1730 1740 1750 ..... 1800 1810 1820

### Zweite Hälfte des 17. Jahrhunderts

Als Alternative zum begehrten Brennholz wird nach dem Dreißigjährigen Krieg „Turff“, die Braunkohle, entdeckt

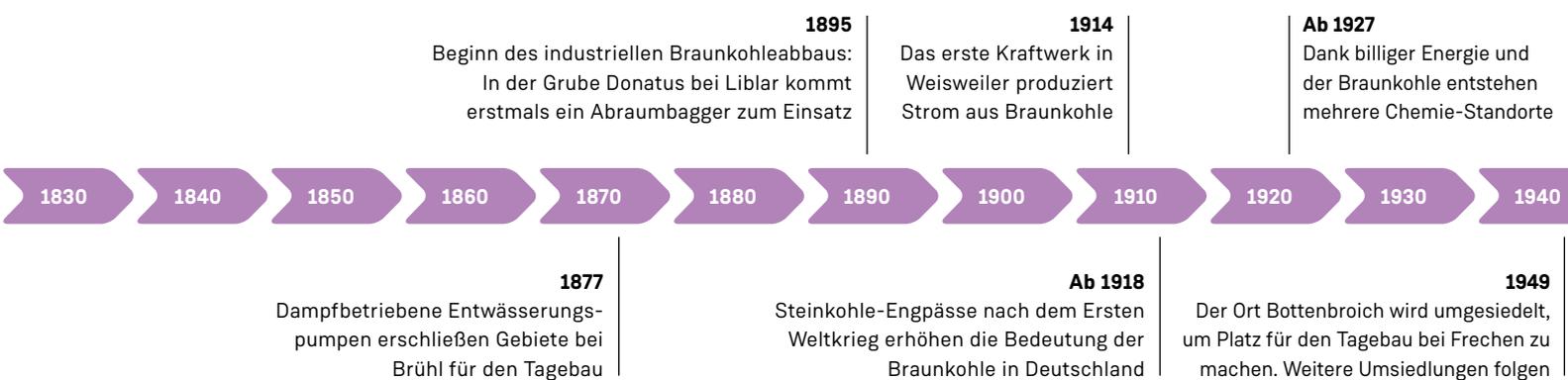
**1826**

In der Nähe von Inden beginnt der Abbau eines 7,5 Meter mächtigen Flözes

Bis zum Jahr 2038 wird Deutschland endgültig aus der Braunkohle aussteigen. Im Rheinischen Revier droht dadurch ein Verlust an Arbeitsplätzen. Um die Wirtschaftskraft der Region zu erhalten, suchen Kommunen und Unternehmen nach Alternativen. Know-how aus Jülich hilft dabei, den Strukturwandel zu gestalten.



← Braunkohlekraftwerk in Weisweiler



**S**ie prägt das Rheinische Revier seit über 200 Jahren: die Braunkohle. Tiefe Gruben des Tagebaus durchziehen die Landschaft im Dreieck zwischen Aachen, Düsseldorf und Köln. Die wenigen Hügel – wie etwa die Sophienhöhe bei Jülich – bestehen aus der ausgebaggerten und aufgeschütteten Erde aus dem Kohleabbau. Nicht nur die Landschaft ist geprägt vom Aufstieg des braunen Gesteins, sondern auch die Industrie in der Region mit Kraftwerken und Chemieanlagen.

Doch die gewachsenen Strukturen brechen nun auf. Der Ausstieg aus der Braunkohle bis spätestens 2038 ist beschlossene Sache. Und bis zum Jahr 2045 will Deutschland klimaneutral werden. Das Rheinische Revier steht damit vor einer gewaltigen ökonomischen und gesellschaftlichen Herausforderung: Zehntausende von Arbeitsplätzen könnten auf der Kippe stehen – wenn es nicht gelingt, den Strukturwandel in der Region sozialverträglich, ökonomisch und ökologisch zu gestalten.

„Was die Region benötigt, ist eine Reindustrialisierung. Für die Arbeitsplätze, die wegfallen, müssen neue geschaffen werden – und zwar für verschiedenste Ausbildungsabschlüsse“, sagt Prof. Wolfgang Marquardt, Vorstandsvorsitzender des Forschungszentrums. Drei Voraussetzungen müssen aus seiner Sicht erfüllt werden: der Aufbau einer leistungsfähigen und modernen Infrastruktur, die Transformation der Industrie, um neue Geschäftsfelder zu erschließen, und die Ansiedlung von Unternehmen aus neuen, zukunftsträchtigen Branchen.

## So ist die Braunkohle entstanden

Im Erdzeitalter des Miozäns vor 23 Millionen Jahren beginnt ein Millionen Jahre dauernder Prozess: die Entstehung der großen Braunkohlelagerstätten. In Mooren bilden sich im Laufe der Zeit rund 300 Meter dicke Schichten aus unvollständig zersetzten Pflanzenresten, der sogenannte Torf. Auf der Schicht lagern sich immer mehr Sedimente an. Unter dem Druck der Ablagerungen wird das Wasser aus dem Torf herausgepresst und die Pflanzenmasse wandelt sich zu Braunkohle um.



„Zu allen drei Punkten können wir als Forschungszentrum einen wichtigen Beitrag leisten. Vor allem können wir Impulsgeber sein, der mit Innovationen aus der Wissenschaft heraus hilft, eine neue Hightech-Industrie zu etablieren“, betont Wolfgang Marquardt. Ansätze gibt es einige: Mit Digitalisierung, CO<sub>2</sub>-neutralen Industrieprozessen und Produkten auf pflanzlicher Basis könnten zum Beispiel Industrie und Landwirtschaft neuen Schwung bekommen. Eine nachhaltige Wasserstoff-Infrastruktur könnte die Region national, aber auch international zu einem Leuchtturm machen. Künstliche Intelligenz und neue Computertechnologien wie Quantenrechner könnten neue Unternehmen entstehen lassen.

„Zusammen mit Partnern aus Wissenschaft, Wirtschaft, Politik und Gesellschaft wollen wir dazu beitragen, dass der Wandel gelingt“, so Wolfgang Marquardt. Die Förderung durch den Bund und das Land ermöglicht bereits verschiedene Vorhaben. Anhand von einigen Beispielen wollen wir Ihnen zeigen, mit welchen Ideen an welchen Orten das Forschungszentrum den Strukturwandel im Rheinischen Revier unterstützt.

**1957**

Erschließung des Tagebaus Inden

**1978**

Erschließung des Tagebaus Hambach

**1983**

Zusammenschluss mehrerer Abbaufelder zum Tagebau Garzweiler I, der ab 2006 um Garzweiler II erweitert wird

1950

1960

1970

1980

**1953–1972**

Die Kraftwerke Weisweiler (Neubau 1953/55), Niederaußem (1963) und Neurath (1972) gehen ans Netz. Neurath ist heute das größte Kraftwerk in Deutschland



← Braunkohlebagger  
im Tagebau Inden

# 7.757 Millionen Tonnen

Braunkohle wurden im Rheinischen Revier zwischen 1930 und 2020 gefördert. Das sind rund ein Drittel der gesamten Produktion in Deutschland in diesem Zeitraum.

## Von Wasserstoff bis Quantencomputing

Die Kohle geht, der Wasserstoff soll kommen – so sieht es die Wasserstoff-Roadmap des Landes Nordrhein-Westfalen vor. Entsprechend spielt der Energieträger eine wichtige Rolle im Strukturwandel. Das Forschungszentrum bringt hier seine langjährige Expertise ein, von Erzeugung und Umwandlung bis hin zu wirtschaftlichen Aspekten des Wasserstoffs. Jülich ist auch als Standort für das aus Mitteln des Strukturwandels finanzierten Helmholtz-Cluster HC-H2 vorgesehen, das die gesamte wissenschaftliche Wertschöpfungskette von der Grundlagenforschung bis zur technischen Anwendung abdecken soll. Am HC-H2 werden vor allem Ansätze zur chemischen Wasserstoffstoff-Spei-

cherung in flüssiger Form verfolgt, etwa in Methanol und anderen Alkoholen oder in Liquid Organic Hydrogen Carrier (LOHC)-Systemen. Durch die Nutzung flüssiger Wasserstoffträger können bestehende Infrastrukturen wie Tankstellen weiter verwendet werden. „Mit dem Cluster wollen wir das Rheinische Revier als Innovationsregion für Wasserstoff etablieren, in der neue Technologien erfunden, entwickelt und demonstriert werden, um sie dann in die Welt zu exportieren. Das wäre ein wichtiger Beitrag, um hier neue Arbeitsplätze zu schaffen und gleichzeitig die Energiewende erfolgreich zu meistern“, betont Prof. Wolfgang Marquardt, Vorstandsvorsitzender des Forschungszentrums.

Neben dem Cluster sind noch weitere Jülicher Aktivitäten zum Strukturwandel in Vorbereitung: Im Vorhaben „Agency for Cognitive Computing“ (ACC) soll zum Beispiel die regionale Wirtschaft bei der bevorstehenden Digitalen Transformation unterstützt werden. Im geplanten „Center for Quantum Science and Engineering“ (CQSE) möchten das Forschungszentrum und das Fraunhofer ILT Aachen Unternehmen vor Ort befähigen, Quantentechnologien zu entwickeln und zu nutzen. Mit dem Ausbau des Ernst Ruska-Centrums für Elektronenmikroskopie „ER-C 2.0“ soll eine Plattform entstehen, um innovative Materialien zu charakterisieren und zu entwickeln.

**2005**  
Der Fluss Inde wird wegen des Tagebaus umgeleitet. Sein neues Bett, zwölf Kilometer lang, wird unter ökologischen Gesichtspunkten gestaltet

**2021**  
Das Land NRW verkleinert die noch bestehenden drei Braunkohletagebaue

1990

2000

2010

2020

**1994**  
Rheinbraun und RWE Energie sowie die NRW-Landesregierung vereinbaren eine klimafreundliche Modernisierung der Braunkohlekraftwerke

**2018**  
Teilweise gewaltsame Proteste gegen die Rodung weiterer Teile des Hambacher Forstes, die dem Tagebau weichen sollen

**2020**  
Deutschland beschließt den Kohleausstieg bis 2038. Die Kohleregionen im Rheinland und in Ostdeutschland erhalten Mittel für den Strukturwandel

# Orte des Wandels

1

## Grüne Chemie dank CO<sub>2</sub>

Ein Industriegebiet am Rande einer Siedlung bei Bergheim. Am Horizont zeichnet sich ein Wald aus Strommasten ab, die sich um ein Umspannwerk gruppieren. Das leise Rauschen der Autobahn dringt herüber zu drei haushohen silberfarbenen Tonnen, die sich hier in der flachen Landschaft erheben.

„Das sind die Fermenter der Biogasanlage Paffendorf. Betrieben wird sie von einem unserer Kooperationspartner, der RWE AG“, erklärt Prof. Rüdiger-A. Eichel, Direktor des Instituts für Energie- und Klimaforschung (IEK-9). Bakterien wandeln in den Türmen Pflanzenreste zu einem Gemisch um, das zu einem großen Teil aus energiereichem Biomethan besteht. Daraus lassen sich sehr effizient mithilfe einer Hochtemperatur-Brennstoffzelle Strom und Wärme erzeugen. Dabei entsteht sehr viel weniger CO<sub>2</sub> als bei der Verstromung von Braunkohle, ein wichtiger Schritt in Richtung klimafreundliche Energieerzeugung. Aber der Jülicher Physiker sieht in der Anlage noch mehr: den Aufbruch in eine klimaverträgliche Chemieindustrie.

„Die Chemie stellt eine Schlüsselindustrie für das Rheinische Revier dar“, sagt der Forscher. „Knapp die Hälfte der gesamten Wertschöpfung in dieser Region wird durch die chemische Industrie erwirtschaftet. Durch sie verdienen rund 48.000 Menschen ihr täglich Brot. Unsere Aufgabe ist es, diese Stellen heute schon auch für die Zukunft zu sichern.“

### VOM ABGAS ZUM ROHSTOFF

Denn diese Sparte gerät zunehmend unter Zugzwang: Noch deckt sie ihren Bedarf an Energie und Rohstoffen aus fossilen Quellen, aus Kohle und Öl. Damit wird auf absehbare Zeit aber Schluss sein. Deutschland will seine Treibhausgasemissionen,

die bei der Verbrennung der fossilen Rohstoffe entstehen, massiv reduzieren und bis zum Jahr 2045 klimaneutral werden. „Das wird uns nur gelingen, wenn wir einen Teil des wichtigsten Treibhausgases Kohlendioxid einem Kreisprozess zuführen können – also das CO<sub>2</sub>, das bei Industrieprozessen entsteht, als Rohstoff für andere Prozesse wiederverwenden“, argumentiert Eichel.

Daran forscht das Projekt iNEW, das im Rahmen des Sofortprogramms der Bundesregierung für den Strukturwandel gefördert und von Jülich aus koordiniert wird. „Hier entwickeln wir einen Werkzeugkasten für das Recycling von Kohlendioxid“, sagt Rüdiger-A. Eichel.

Die Abkürzung iNEW steht für „Inkubator für Nachhaltige Elektrochemische Wertschöpfung“. Die Idee dahinter: Spezielle Elektrolysezellen wandeln CO<sub>2</sub> und Wasser mithilfe von Strom aus erneuerbaren Quellen zu einer Mischung aus Kohlenmonoxid und Wasserstoff um. Dieses Synthesegas wird bisher durch die Reaktion von Wasserdampf mit Erdgas, Rohöl oder Kohle gewonnen. Es dient der Chemieindustrie als Ausgangsstoff für eine ganze Reihe von Produkten, etwa





**„Unsere Vision ist es, dass das Rheinische Revier eine vollkommen klimaneutrale Chemieindustrie aufbaut, die ganz ohne fossile Rohstoffe auskommt.“**

PROF. RÜDIGER-A. EICHEL

von Kohlenwasserstoffen und Alkoholen. „Wir haben auch schon Elektrolysezellen entwickelt, die nicht nur Synthesegas liefern, sondern direkt wichtige Plattformchemikalien, zum Beispiel Ethylen oder Ameisensäure. Die lassen sich dann zu hochwertigen Produkten veredeln, etwa für die Pharma- oder die Lackindustrie“, erklärt der Forscher.

Den Rohstoff CO<sub>2</sub> könnte die Biogasanlage in Paffendorf liefern. Das Gas, das dort als Abfallprodukt bei der Umwand-

lung von Biomethan in Strom entsteht, muss dazu abgefangen und in speziellen Elektrolysezellen weiterverarbeitet werden. Der Vorteil gegenüber CO<sub>2</sub> aus Braunkohlekraftwerken: Es ist hochrein und muss daher nicht aufwendig aus mit anderen Stoffen verunreinigten Abgasen gewonnen werden.

**KLIMANEUTRAL PRODUZIEREN**

Das CO<sub>2</sub> könnte aber auch aus anderen Quellen stammen, bei denen sich die Emissionen des Treibhausgases nicht vermeiden lassen und das CO<sub>2</sub> nicht so stark verunreinigt ist: aus Zementwerken oder Müllverbrennungsanlagen. „Unsere Vision ist es, dass das Rheinische Revier als erste der weltweit rund 50 bedeutenden Kohleregionen eine vollkommen klimaneutrale Chemieindustrie aufbaut, die ganz ohne fossile Rohstoffe auskommt,“ sagt Rüdiger-A. Eichel. Dafür sei es nötig, frühzeitig kompetente Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter auszubilden und zu fördern. Talentschulen und Sommerakademien seien daher ein integraler Bestandteil von iNEW, so der Jülicher Forscher: „Denn eines ist klar: Die Fachkräfte, die wir für den Wandel von morgen brauchen, drücken heute noch die Schulbank.“

## 2

## Vom Tagebau zum Ackerland

„Vorsicht! Absturzgefahr!“ Ein gelbes Schild warnt vor dem Abgrund, der sich ganz unvermittelt hier auftut. Vorsichtig tritt Nicolas Brüggemann noch einen Schritt näher an die Kante heran. Vor ihm liegt die gewaltige Grube des Tagebaus Inden, die sich wüstenartig über mehrere Kilometer erstreckt. Ein 250 Meter tiefes Loch, in dem die riesigen Schaufelradbagger geradezu verschwinden. Wie bizarre Insekten knabbern die Maschinen an den terrassenförmig ansteigenden Rändern des Kraters.

„Das Erdreich über der Kohle wird über kilometerlange Förderbänder zu den sogenannten Absetzern transportiert. Diese Kran-ähnlichen Maschinen verfüllen damit auf ihrer Rückseite wieder die Grube, in der die Kohle abgebaut wurde, sagt der Jülicher Professor für Terrestrische Biogeochemie, der sich am Institut für Bio- und Geowissenschaften (IBG-3) unter anderem mit der Rekultivierung von Tagebauflächen beschäftigt.

Zusammen mit der RWE AG untersuchen er und sein Team vom IBG-3 am Tagebau Inden, wie man den abgebagerten Boden wieder möglichst schnell als fruchtbares Ackerland nutzen kann. „Das ist für uns wie ein großes Freilandlabor“, erläutert Nicolas Brüggemann. Im Projekt Digitales Geosystem Rheinisches Revier (DG-RR), einem Innovationslabor des Strukturwandel-Vorhabens BioökonomieREVIER (siehe Seite 18/19), untersuchen die Forschenden zwei Ackerflächen am Rand der Grube.

### **ABBAGGERN SENKT DIE BODENQUALITÄT**

Der Wissenschaftler geht in die Hocke und greift mit seiner rechten Hand in die ockerfarbene Erde: „Im Grunde genommen handelt es sich hier um den besten Ackerboden, den man sich vorstellen kann“, sagt er. Eine humusreiche Schicht Oberboden, in dem Nutzpflanzen hervorragend gedeihen, ruht auf einer mächtigen Schicht von kalkhaltigem Lössboden, einem unschlagbaren Feuchtigkeitsspeicher.

Wenn die Schaufelradbagger aber die Erde über der Braunkohle abtragen, vermischt sich dabei der Oberboden mit der darunterliegenden Erde, dem Löss. Die Nährstoffe und der Humus werden dadurch quasi verdünnt, außerdem ändert sich der pH-Wert durch den Kalk. Das alles hat zur Folge, dass die Böden nach dem Abbaggern und Wiederauftragen weniger Ertrag bringen als davor.



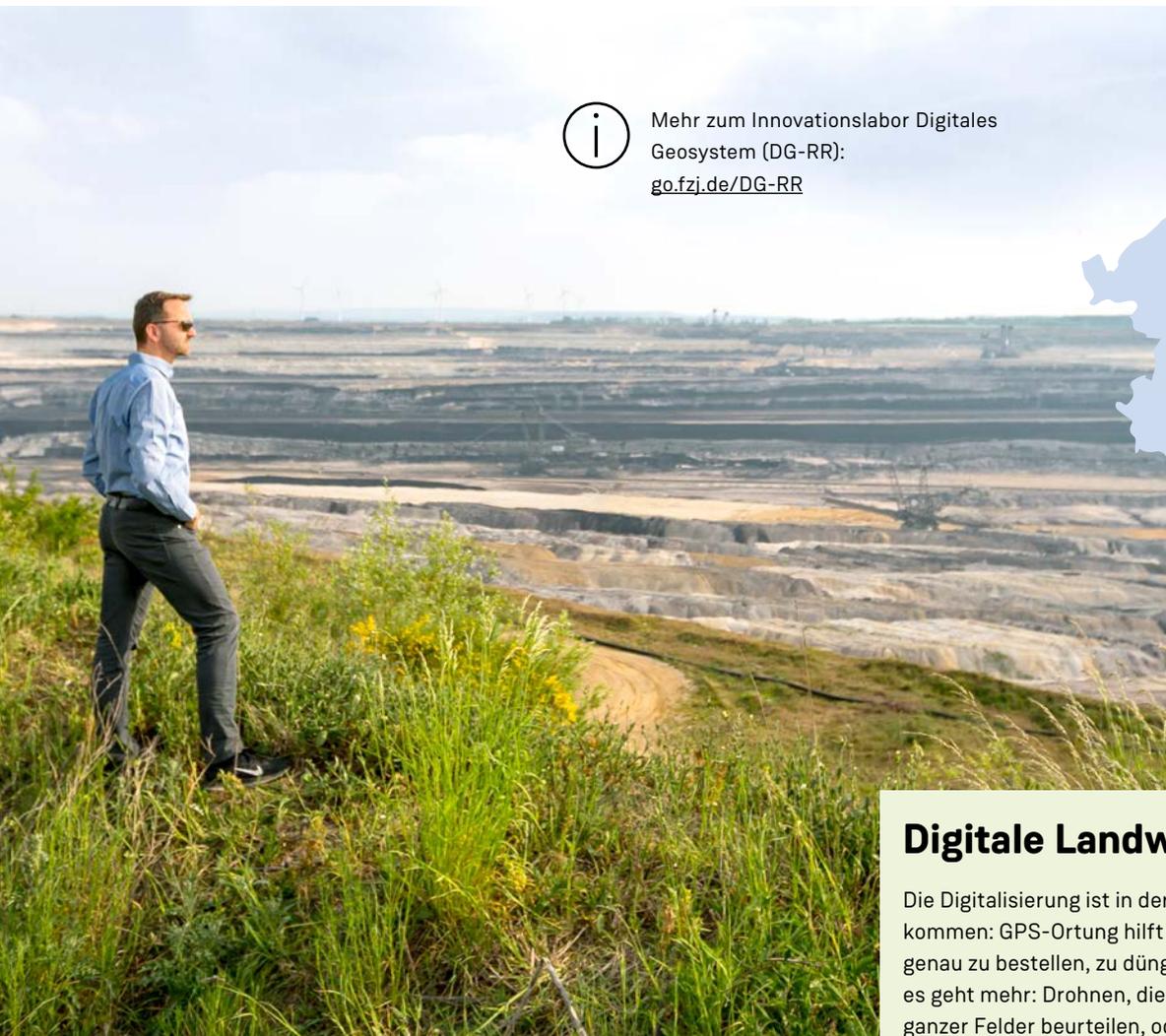
**„Die rekultivierten Flächen des Tagebaus sind für uns wie ein großes Freilandlabor.“**

PROF. NICOLAS BRÜGGEMANN

Die Abhilfe: Dem Boden müssen Humus, Stickstoff und Phosphor zugeführt werden, damit er wieder landwirtschaftlich gewinnbringend genutzt werden kann. Das geschieht zunächst in Form einer dreijährigen Gründüngung mit Luzernen unter Zugabe von Phosphordünger. Die Luzernen binden Stickstoff aus der Luft und wandeln ihn in eine für Pflanzen verwertbare Form um. Danach wird Kompost auf den Flächen ausgebracht. „RWE hat für uns nun auf zwei Testfeldern am Rand der Tagebaugrube einmal die normale Menge Kompost und einmal das Doppelte der sonst üblichen Kompostmenge ausgebracht“, so der Jülicher Wissenschaftler. Das Vorgehen haben die Forschenden im BonaRes-Projekt Inplamint erprobt. Und tatsächlich ließ sich durch diese einfache Maßnahme die Erntemenge an Weizen oder Gerste deutlich steigern.



Mehr zum Innovationslabor Digitales Geosystem (DG-RR):  
[go.fzj.de/DG-RR](http://go.fzj.de/DG-RR)



Die Methode hat noch einen weiteren Nutzen: Die Böden binden deutlich mehr Kohlenstoff durch den eingebrachten Kompost. „Das ist natürlich wichtig in Hinblick auf die CO<sub>2</sub>-Neutralität bis 2045“, sagt Nicolas Brüggemann.

### KOMPOST ALS EXPORTSCHLAGER

Wird der Kompost zum richtigen Zeitpunkt im Herbst aufgebracht, kann er sogar unerwünschte und umweltschädliche Stickstoffverluste verhindern. Dabei binden Mikroorganismen den überschüssigen Stickstoff, den die Pflanzen nicht aus dem Boden aufnehmen können.

Nicolas Brüggemann plant, den Kompost und andere Bodenverbesserer, wie etwa modifizierte Pflanzenkohle, in Zusammenarbeit mit lokalen Firmen weiter zu optimieren. Im Moment nutzen diese Unternehmen ein Nebenprodukt des Braunkohleabbaus, um daraus Bodenverbesserer herzustellen. Wenn die großen Schaufelradbagger in Inden in wenigen Jahren stillstehen sollten, könnte ein organisches Erzeugnis auf Basis von Grünschnitt oder anderen Reststoffen diese Lücke füllen – und sich möglicherweise als Exportschlager erweisen. Denn nährstoffarme Böden lassen sich überall auf der Welt finden.

## Digitale Landwirtschaft

Die Digitalisierung ist in der Landwirtschaft angekommen: GPS-Ortung hilft bereits, ein Feld punktgenau zu bestellen, zu düngen und zu ernten. Doch es geht mehr: Drohnen, die im Flug den Zustand ganzer Felder beurteilen, oder vernetzte Sensoren, die darüber wachen, dass der Boden den Pflanzen genug Wasser bietet.

Der Strukturwandel bietet dem Rheinischen Revier die Chance, solche neuen Ansätze für die digitale Agrartechnik zu erproben. In insgesamt 15 Innovationslaboren der Strukturwandeliniziativa BioökonomieREVIER arbeiten dafür Wissenschaft, Landwirtschaft und Firmen eng zusammen, beispielsweise auf einer rund sechs Hektar großen Feldfläche in der Nähe des Brainergy Parks Jülich. „Für mich als Forscher ist es spannend, neue Technologien mit Anwendern in der Region zu teilen – und deren Meinung dazu kennenzulernen. Das gilt auch für das gemeinsame Entwickeln von Ideen mit Start-up-Unternehmen, die daraus benutzerfreundliche Produkte konzipieren“, sagt der Projektleiter des Feldlabors, Dr. Onno Muller vom Jülicher Institut für Bio- und Geowissenschaften (IBG-2).

Auch das Innovationslabor „Bioökonomie und Digitalisierung“ nutzt die Fläche. Ziel ist es, große Datenmengen zum Zustand der Böden und Pflanzen zu erfassen, zu analysieren und bereitzustellen. Daraus ließe sich etwa ermitteln, wie viel Düngemittel nötig ist oder wie viel Wasser die Pflanzen gerade aufnehmen.

## 3

## Neue Hardware für die KI

„Wir bauen um“, sagt Rainer Waser und lächelt verschmitzt. „Hier am Standort des alten Walter-Schottky-Hauses entsteht gerade ein hochmodernes Forschungsgebäude“, erklärt der Physikochemiker und blickt an der gläsernen Fassade des Neubaus auf dem Campus Melaten der RWTH Aachen empor.

Rainer Waser, Professor an der RWTH Aachen und Direktor des Jülicher Peter Grünberg Instituts (PGI-7), hat noch einen Umbau ganz anderer Art vor Augen: „Wenn die Braunkohle geht, möchten wir im Rheinischen Revier zum Ausgleich Industriearbeitsplätze schaffen auf einem zukunftssträchtigen Gebiet, nämlich der Hardware für Anwendungen der Künstlichen Intelligenz.“ Im Projekt NEUROTEC, gefördert aus dem Sofortprogramm für den Strukturwandel, möchte der Forscher dazu mit seinem Team eine der grundlegenden Herausforderungen der Informationstechnologie angehen: das Energieproblem.

### SO EFFIZIENT WIE DAS GEHIRN

„Rund 15 Prozent der elektrischen Energie werden von IT-Anwendungen verschlungen.“ Wesentlich sparsamer als konventionelle Rechner arbeiten Computer nach dem Vorbild des menschlichen Gehirns, sogenannte neuromorphe Systeme. Bisher funktionieren solche Chips noch mit herkömmlicher Halbleitertechnologie, also mit winzig kleinen elektronischen Schaltern. Diese Transistoren möchte Rainer Waser durch ein neuartiges Bauelement ergänzen: einen Memristor. Solch ein „Widerstand mit Gedächtnis“ ähnelt den Synapsen in natürlichen Nervenzellen und eignet sich daher ganz besonders für künstliche neuronale Netzwerke, wie sie für Anwendungen der Künstlichen Intelligenz verwendet werden.

„Forschungseinrichtungen hier in der Region sind weltweit führend hinsichtlich der Grundlagenforschung auf diesem noch jungen Gebiet“, erklärt Rainer Waser. „Außerdem haben wir das Glück, dass hier auch einige Hochtechnologiefirmen arbeiten, die Interesse daran zeigen, ihre Kompetenzen in Richtung der neuromorphen Systeme zu erweitern. Wir hoffen, dass auf diese Weise im Rheinischen Revier eine Keimzelle für diese Rechnergeneration der Zukunft entsteht.“

Zum Beispiel: Das Unternehmen AIXTRON in Herzogenrath, Projektpartner im NEUROTEC-Projekt, liefert Maschinen, die



**„Die Braunkohle war im Rheinischen Revier die Ressource der Vergangenheit. Die Ressource der Zukunft wird das Wissen sein.“**

PROF. RAINER WASER



dünnste Schichten von Halbleitern auf Oberflächen abscheiden. Diese Anlagen könnten auch dazu dienen, memristive Schaltungen mit konventioneller Silizium-Technologie zu kombinieren, sagt Rainer Waser: „Das wäre ein erster Schritt auf dem Weg zu neuromorphen Systemen: Computerchips mit zusätzlichen funktionellen Schichten auf Basis von Memristoren.“ So könne ein Standort der Spitzenforschung entstehen, der auch für eine Vielzahl anderer Firmen ein attraktives Umfeld bietet.

## KOMPETENZ BÜNDELN

Eine Schnittstelle zu kleinen Unternehmen und Start-ups bietet auch die AMO GmbH in Aachen, ein Forschungsinstitut für Nanotechnologie. Sie arbeitet zusammen mit der RWTH und Jülich im Zukunftscluster NeuroSys. Dieses regionale Innovationsnetzwerk soll als wissenschaftliches und wirtschaftliches Ökosystem für das neuro-inspirierte Rechnen etabliert werden. So bringt es neben den Memristor-Experten aus Jülich auch Fachleute aus den Materialwissenschaften, der Informatik, der Elektrotechnik und den Neuro- und Sozialwis-

senschaften aus dem gesamten Rheinischen Revier zusammen. Und auch die Ethik ist mit an Bord, betont Max Lemme, Professor für Elektrotechnik an der RWTH Aachen, wissenschaftlicher Geschäftsführer der AMO GmbH und Sprecher des Clusters: „Wie wird KI unser alltägliches Leben in Zukunft beeinflussen? Was bedeutet die Technologie für den Arbeitsmarkt? Das sind Fragen, die uns wichtig sind.“

Rainer Waser sieht die Region angesichts der geballten Kompetenz gut aufgestellt für den bevorstehenden Wandel: „Die Braunkohle war im Rheinischen Revier die Ressource der Vergangenheit. Die Ressource der Zukunft wird das Wissen sein. Und dazu gehört auch das Know-how, wie man neuromorphe Computer für die Künstliche Intelligenz baut.“

ARNDT REUNING

# Modellregion BioökonomieREVIER

Bioökonomie hat Potenzial. Nachhaltiges und biobasiertes Wirtschaften, bei dem die Kreislauf- die Wegwerfgesellschaft ablöst, verbindet drei wichtige Zukunftsaufgaben: Ernährungssicherung, Rohstoffversorgung und Energiewende. Das Rheinische Revier bietet sehr gute Voraussetzungen, die Chancen der Bioökonomie zu nutzen: Hier gibt es eine starke Land- und Ernährungswirtschaft dank guter Böden und mildem Klima, eine breit gefächerte Wirtschaft, eine dichte Forschungslandschaft sowie zahlreiche Ballungsräume als Absatzmärkte. Gefördert durch Strukturwandelprogramme soll das Revier zur „Modellregion BioökonomieREVIER Rheinland“ und so zum Vorbild für andere werden. Die Koordinierungsstelle ist am Jülicher Institut für Bio- und Geowissenschaften (IBG-2) angesiedelt. Sie begleitet auch 15 Innovationslabore, in denen Jülich gemeinsam mit Partnern aus Wissenschaft und Wirtschaft vielversprechende Forschungsideen in der Praxis erprobt.

## Nutzen für Menschen und Region

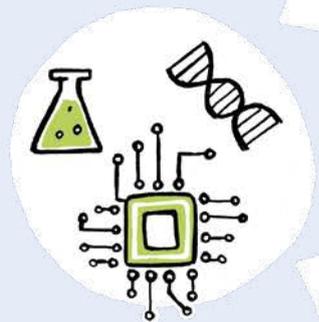
- **Kooperationen:** Wissenschaft, Wirtschaft, Kommunen, Verbände und Zivilgesellschaft zusammenbringen
- **Wissenstransfer:** schnelle Umsetzung von Innovationen aus der Wissenschaft in die Wirtschaft
- **Firmengründungen:** Ideen aus der Bioökonomie in Geschäftsmodelle umwandeln
- **Arbeitsplätze:** Kreislaufwirtschaft sorgt für neue Rohstoffe und Produkte – und somit für neue Einkommensquellen und Jobs
- **Aus- und Weiterbildung:** neue Berufe entstehen, alte verändern sich, Bildungsangebote bereiten darauf vor
- **Bürgerbeteiligung:** Menschen können sich nicht nur informieren, sondern sich auch selbst einbringen
- **Profilbildung:** Stärken und Potenziale von Kommunen bei der Bioökonomie ermitteln und nutzen



Abfall

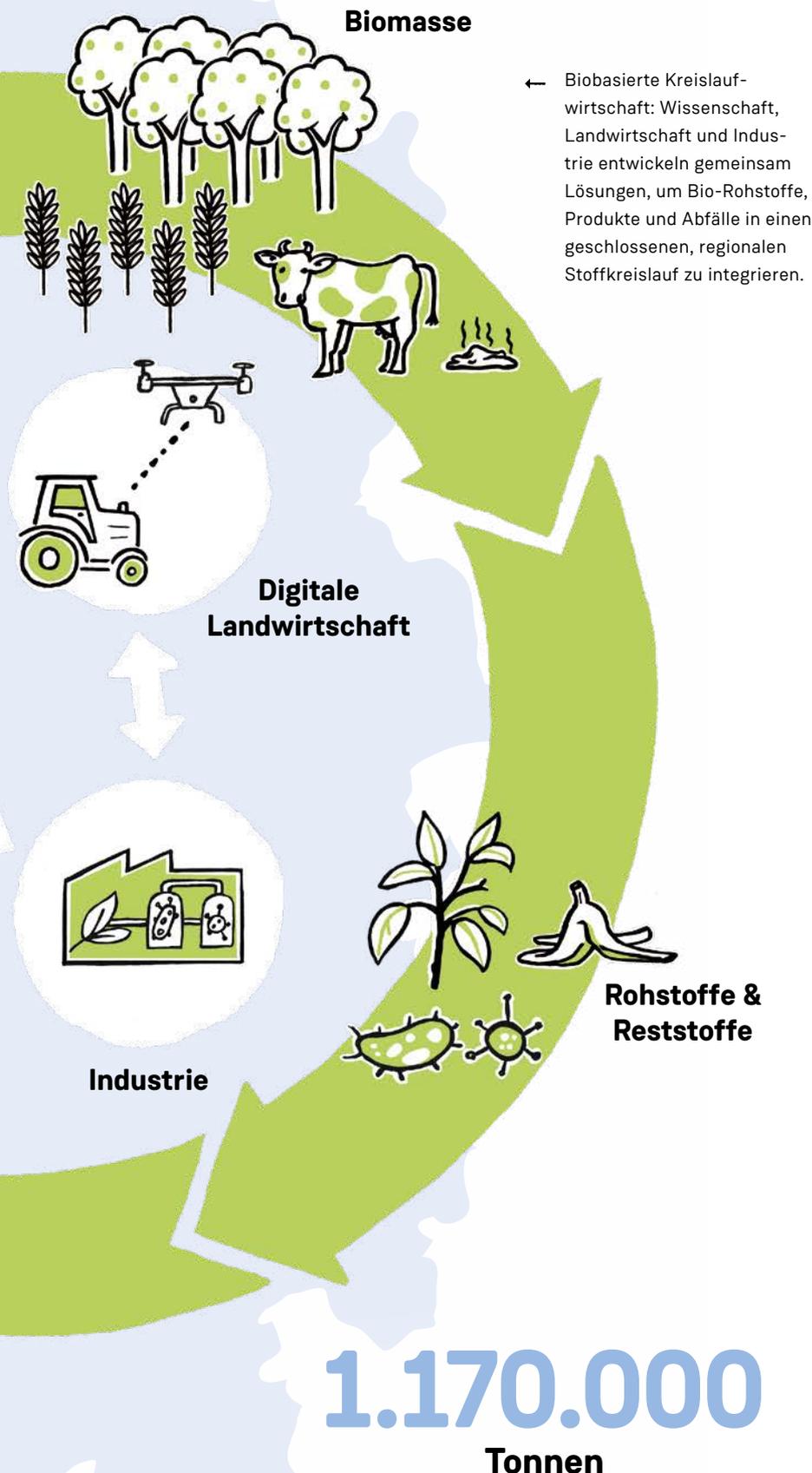


Wissenschaft



Produkte





Biomasse könnten pro Jahr potenziell im Rheinischen Revier zu höherwertigen Produkten weiterverarbeitet werden. Die Biomasse besteht unter anderem aus Biomüll, Ernteabfällen und Resten aus der Zuckerherstellung.

## Aus der Forschung in die Praxis



### Pflanzen und Strom ernten

Ackerflächen sollen doppelten Nutzen bringen: Am Boden wachsen Pflanzen, darüber erzeugen Solaranlagen Energie – installiert auf hohen Gerüsten. Auch Viehzucht wäre möglich. Jülicher Forschende und ihre Partner im Innovationslabor Agrophotovoltaik 2.0 errichten derzeit eine Demonstrationsanlage.

### Bioplastik aus Zuckerabfällen

Bei Zucker-, Marmeladen und Schokoladenproduktion in der Region fallen tonnenweise Zuckerabfälle an. Daraus wollen Jülicher und Aachener Forschende im Innovationslabor „Upcycling regionaler Reststoffe zur Produktion von Plattformchemikalien“ mithilfe von Mikroorganismen Ausgangsstoffe für biobasierte Kunststoffe herstellen. Diese sollen Chemikalien aus Erdöl ersetzen.

### Gras zu Papier verarbeiten

Papier wird meist aus Holz oder Recyclingpapier hergestellt. Die Firma Creapaper setzt dagegen auf Grasfaser, mit der sie von Düren aus Papier- und Verpackungsindustrie beliefert. Durch die Umstellung hat Creapaper sowohl Wasser- und Stromverbrauch als auch CO<sub>2</sub>-Emissionen massiv gesenkt. Mit Jülicher Unterstützung sollen Rohstoff und Produktion weiter verbessert werden.

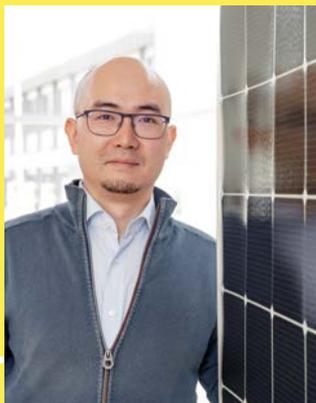


Mehr Infos zum  
BioökonomieREVIER:  
[bioekonomierevier.de](http://bioekonomierevier.de)



# Solarenergie macht mobil

Der Verkehr ist für rund 20 Prozent der Treibhausgase verantwortlich, die in Deutschland ausgestoßen werden. Fahrzeuge sollen daher klimafreundlicher werden – zum Beispiel mithilfe von Solarzellen.



↑ Kaining Ding leitet seit 2014 die Abteilung Silizium-Heterojunction (SHJ) Solarzellen und -module in Jülich. Damals kamen die SHJ-Solarzellen gerade mal auf einen Wirkungsgrad von 19 Prozent.

Schon Mitte der 1980er Jahre bauten Tüftler kuriose Autos, die mit Solarenergie fuhren. Damit bestritten sie Rennen wie die „World Solar Challenge“ quer durch Australien. Mit alltagstauglichen Serienfahrzeugen hatten diese Solarmobile keine Ähnlichkeit. Inzwischen jedoch ist das Konzept, Solarzellen etwa in das Autodach oder in Außenteile der Karosserie zu integrieren, bei etablierten Autoherstellern wie Toyota und Hyundai sowie bei Start-up-Unternehmen angekommen.

Dafür gibt es Gründe: „Es sind immer mehr Hybrid- und Vollelektrofahrzeuge auf den Straßen unterwegs. Die können den Solarstrom direkt für den Antrieb nutzen“, erläutert Dr. Kaining Ding vom Jülicher Institut für Energie- und Klimaforschung (IEK-5). Der gegenwärtige Trend hin zu Elektroautos bringe auch neuen Schwung in die Fahrzeug-integrierte Photovoltaik. Hinzu kommt: „Solarmodule sind inzwischen so kostengünstig und effizient, dass sich ihr Einsatz lohnen kann, um die Reichweite von Elektrofahrzeugen zu verlängern“, sagt der Forscher.

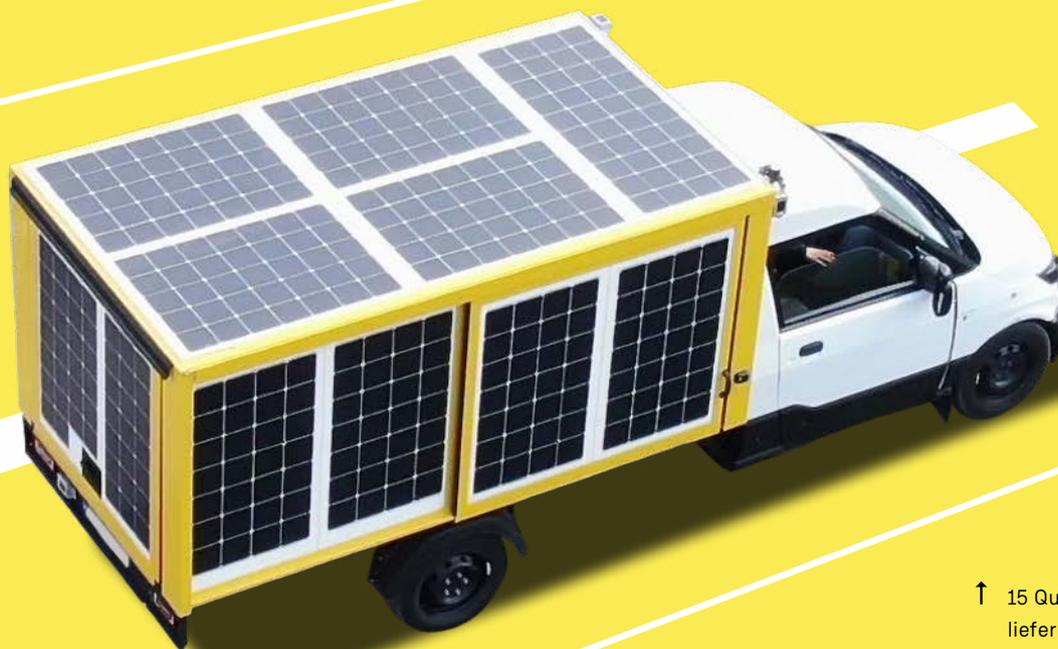
So will das deutsche Start-up-Unternehmen Sono Motors nach eigenen Angaben ab 2023 ein Auto in Serie produzieren, das wöchentlich durchschnittlich 112 Kilometer zusätzliche Reichweite durch Sonnenenergie gewinnen kann. Im Sommer bei viel Sonnenschein sollen die 248 Solarzellen des Autos, die in die Karosserie eingebaut sind, das Auto sogar bis zu 245 Kilometer pro Woche antreiben können.

## SONNE EFFIZIENTER NUTZEN

Solche Werte lassen sich wahrscheinlich noch steigern – mit einer neuen Generation von Solarzellen, die pro Quadratzentimeter Fläche mehr Strom aus Sonnenlicht gewinnen als die Standardzellen, die Wirkungsgrade um die 20 Prozent erreichen. So haben die Jülicher Photovoltaikexperten Zellen, deren Bauweise der Fachwelt unter dem Namen Silizium-Heterojunction (SHJ) bekannt ist, mit einem Wirkungsgrad von 24,5 Prozent entwickelt. Das ist deutscher Rekord für Solarzellen dieses Typs. Das Besondere: Dieser Rekord wurde mit Zellen in handelsüblicher Größe erreicht und nicht in einem kleineren Labormaßstab, wie er bei Wirkungsgradmessungen oft üblich ist.

SHJ-Solarzellen unterscheiden sich von Standardsolarzellen, die gegenwärtig mehr als 95 Prozent des gesamten Photovoltaik-Marktes ausmachen, vor allem durch ultradünne Schichten aus ungeordneten Silizium-Atomen, die einen Wafer aus kristallinem Silizium umhüllen. Die Schichten hemmen an den Wafer-Oberflächen die schnelle Rekombination der negativen und positiven Ladungsträger, die vom Sonnenlicht erzeugt wurden. Die Rekombination würde zu einem niedrigeren Wirkungsgrad führen.

Der Wirkungsgrad der SHJ-Solarzellen ist weniger temperaturabhängig als der von Standardzellen. Daher gewinnen die Solarzellen auch dann effizient Strom, wenn das Autodach, in das sie eingebaut sind, in der prallen Sommersonne 70 Grad Celsius warm wird. Andererseits stören auch Minusgrade nicht. Ein weiterer Vorteil mit Blick auf den Einsatz im Auto: „SHJ-Solarzellen lassen sich besonders dünn bauen, was SHJ-



Module leichter und flexibler als herkömmliche Solarmodule macht“, so Kaining Ding.

Bei Nutzfahrzeugen, Lkw und Wohnmobilen steht mehr Fläche für Solarmodule zur Verfügung als bei Pkw. Das IEK-5 gehört zu einem Konsortium, das im Projekt STREET ein leichtes Elektro-Nutzfahrzeug mit Photovoltaik-Modulen ausrustet. Eine Ökobilanz der Jülicher Forschenden hat ergeben, dass ein solches Fahrzeug bei einem mindestens achtjährigen Betrieb Umwelt und Klima weniger belastet als ein entsprechendes E-Fahrzeug, das seine Energie ausschließlich aus dem deutschen Stromnetz bezieht. „Wir erwarten, dass das E-Nutzfahrzeug des Konsortiums mehr als 30 Prozent der jährlichen Fahrleistung aus dem Strom der Photovoltaik-Module decken könnte, wenn es beispielsweise in München für die Paketzustellung eingesetzt würde“, sagt Kaining Ding.

### FARBBLICH FLEXIBEL

Eine Sorge können die Jülicher Forschenden potenziellen Käufern von Solarelektroautos nehmen: Die Optik des Fahrzeugs muss nicht unter den Solarzellen leiden. Die Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler fanden heraus, welche Zusammenhänge es zwischen der Dicke einer bestimmten Schicht der SHJ-Solarzelle und der Farbwahrnehmung durch das menschliche Auge gibt. Mit diesem Wissen könnten Solarzellen- und Autohersteller künftig sicherstellen, dass Solarmodule am Auto farblich einheitlich aussehen. So fallen sie weniger auf und können sogar als Designelement genutzt werden.

FRANK FRICK

↑ 15 Quadratmeter Solarmodule liefern einem StreetScooter Strom. Mit dem Demonstrator testen im Projekt STREET Partner aus Industrie und Forschung, darunter auch Jülich, derzeit den Einsatz von Photovoltaik bei Fahrzeugen.

Mehr zum Projekt STREET und den beteiligten Partnern unter: [go.fzj.de/STREET](http://go.fzj.de/STREET)

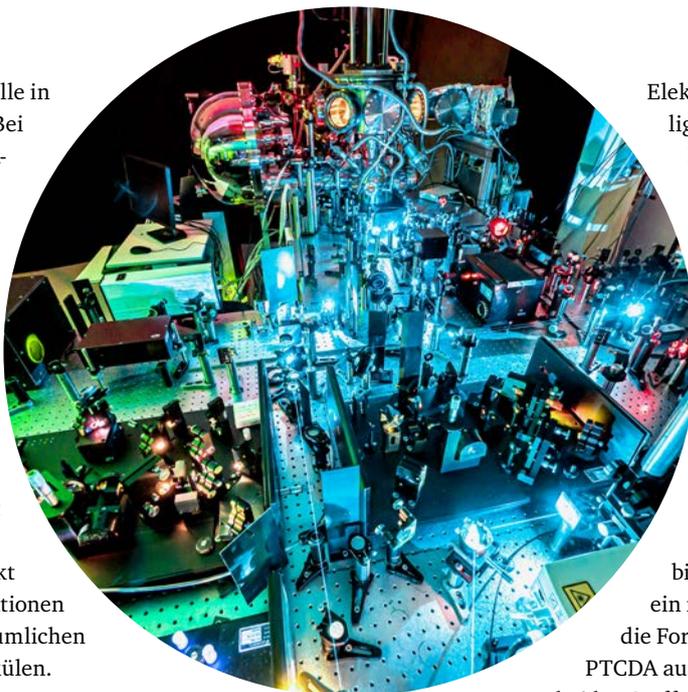
# Ein Traum rückt näher

Sie sind blitzschnell, winzig klein und kaum zu fassen: Elektronen. Ihre Bewegungen genau zu verfolgen, könnte viel über chemische Reaktionen verraten. Bisher schien das unmöglich. Ein Mix aus Laser- und Elektronenspektroskopie könnte das ändern.

Elektronen spielen eine zentrale Rolle in der Chemie: Sie verbinden Atome. Bei chemischen Reaktionen gehen Elektronen auf Wanderschaft, dadurch werden Bindungen gelöst und neue geknüpft. Welcher Stoff wie viele Elektronen abgibt oder aufnimmt, lässt sich in Reaktionsgleichungen exakt beschreiben. Doch die Forschung möchte es noch genauer wissen: „Seit vielen Jahren ist es ein Ziel, Elektronen im Laufe einer Reaktion in Zeit und Raum exakt zu verfolgen“, sagt Prof. Stefan Tautz vom Peter Grünberg Institut (PGI-3). Dahinter steckt ein großer Traum: Chemische Reaktionen zu erklären alleine auf Basis der räumlichen Verteilung von Elektronen in Molekülen.

Forschenden aus Jülich, Graz und Marburg ist hierfür ein wichtiger Schritt gelungen: Sie haben Elektronen beim Transfer durch eine Grenzfläche zwischen einer Molekülschicht und einem Metall beobachtet. Die Anregungspfade der rasend schnellen Teilchen haben sie mit einer Kombination von innovativen Verfahren in einer Serie von Einzelbildern festgehalten und konnten so den Ablauf in Zeitlupe nachverfolgen.

Eine komplexe Herausforderung, denn Elektronen in einem Molekül haben zu keinem Zeitpunkt einen fest definierbaren Aufenthaltsort. Es können nur Bereiche angegeben werden, in denen sie sich mit sehr großer Wahrscheinlichkeit aufhalten – die Orbitale. Mithilfe der vor wenigen Jahren in Graz und Jülich gemeinsam entwickelten Photoemissions-Orbital-Tomographie können Forschende solche Orbitale experimentell erfassen. Dazu beschießen sie eine Molekülschicht mit Lichtteilchen. Das löst energetisch angeregte



Elektronen aus der Schicht – nicht zufällig, sondern nach einem bestimmten Muster, das direkt die räumliche Verteilung der Elektronen in den Orbitalen der Molekülschicht widerspiegelt.

Doch das liefert nur eine Momentaufnahme. Um einen zeitlichen Ablauf zu erhalten, setzte das Team einen speziellen Laser ein, der ultrakurze Pulse im Femtosekundenbereich mit ausreichend hoher Energie erzeugt. Jeder Puls, der lediglich eine billionstel Sekunde dauert, ergibt ein neues Bild. Als Probe verwendeten die Forschenden das organische Molekül PTCDA auf einer Kupferunterlage, zwischen beiden Stoffen lag eine hauchdünne Oxidschicht. Ein hochempfindliches Impulsmikroskop erfasste Richtung und Energie der herausgelösten Elektronen.

↑ Die Wissenschaftler verfolgten die Orbital-Tomogramme mit ultrahoher Auflösung durch die Zeit. Die Elektronen in den Molekülen wurden dafür mit Femtosekunden-Laserpulsen in ein anderes Orbital angeregt.

„Die Experimente haben gezeigt, dass es mit unserer Kombination prinzipiell möglich ist, die Anregungspfade der Elektronen in Raum und Zeit zu verfolgen. Das wollen wir nun auch mit anderen Proben nachweisen“, so Stefan Tautz. Die Erkenntnisse könnten beispielsweise helfen, Grenzflächen und Nanostrukturen etwa für Prozessoren, organische Solarzellen und Katalysatoren zu optimieren.

CHRISTIAN HOHLFELD



Ultraschnelle Orbital-Tomographie sehen Sie hier im Video:  
[go.fzj.de/Orbital-Tomographie](https://go.fzj.de/Orbital-Tomographie)



## **Woran forschen Sie gerade, Frau Stadtler?**

**Dr. Scarlet Stadtler, Jülich Supercomputing Centre, Forschungsgruppe Earth System Data Exploration**

„Ich untersuche, wie Künstliche Intelligenz (KI) Entscheidungen trifft. Bäume spielen dabei eine wichtige Rolle. Ihre Verzweigungen sind Vorbild für eine spezielle Technik des maschinellen Lernens, die Entscheidungsbäume. Dabei prüft die KI schrittweise, ob Daten bestimmte Eigenschaften haben oder nicht. Je mehr Kriterien, desto mehr verästelt sich ein Lösungsweg. Mit einem ganzen Wald von parallel arbeitenden Entscheidungsbäumen wollen wir Daten zur Luftqualität analysieren und etwa Ozonwerte für Orte vorhersagen, an denen es keine Messstationen gibt.“

# Störungen einfach ausblenden

Jeder macht mal Fehler, heißt es. Lästig wird es allerdings, wenn sich Fehler häufen. Genau das passiert bei heutigen Quantencomputern: Deren Recheneinheiten, die Quantenbits, sind extrem anfällig für Störungen und damit für Fehler. Jülicher Forschende suchen Wege, diese zu finden und zu beheben.



↑ Gute Kopfhörer blenden Störungen aus oder lassen sie gar nicht erst eindringen – so ähnlich funktionieren die Verfahren zur Fehlerkorrektur, die Jülicher Forschende für Quantenrechner entwickeln.

Die Rekordjagd hat begonnen: Während die ersten Quantenrechner mit rund 50 Qubits laufen, planen US-amerikanische Firmen wie IBM und Google bereits Systeme mit Tausenden Quantenbits, kurz Qubits. Deutschlands Quanten-Roadmap peilt immerhin 500 Qubits an.

Doch die Qubit-Anzahl allein ist für Prof. Frank Wilhelm-Mauch, Leiter des Bereichs „Quantum Computing Analytics“ am Jülicher Peter Grünberg Institut (PGI-12), nach dem aktuellen Stand

der Technik nicht der richtige Maßstab für die Leistung eines Quantencomputers. Denn die Formel „viele Qubits bedeuten hohe Leistung“ stimmt nicht. Schuld ist die Fehleranfälligkeit der Recheneinheiten: Bereits durch kleinste Störungen können Qubits ihren Quantenzustand einbüßen – und damit ihre besonderen Rechenfähigkeiten. Darum müssen alle bekannten Arten von Quantencomputern von der Umgebung isoliert werden – manche durch Ultrahochvakuum, manche durch Temperaturen nah am absoluten

Nullpunkt bei minus 273 Grad Celsius. Jede kleine Abweichung, die beispielsweise bei der Programmierung entstehen kann, kann das System stören.

Um trotzdem Rechnungen durchführen zu können, wird bislang ein großer Teil der Recheneinheiten eingesetzt, um Fehler zu diagnostizieren und zu korrigieren. „Von den 50 und mehr Qubits, die aktuell führende Quantencomputer erreichen, werden höchstens 12 für Anwendungen genutzt“, sagt der Forscher. Hinzu kommt: Je komplexer eine Rechnung, desto rasanter nimmt die Fehlerrate zu. Irgendwann sind es so viele fehlerhafte Qubits, dass das System nicht mehr ordentlich funktioniert. „Daher ist es aktuell wichtiger, die Fehlerwahrscheinlichkeit zu verringern als die Zahl der Qubits zu steigern“, ist Frank Wilhelm-Mauch überzeugt.

Doch schon das Erkennen von Fehlern ist ein Problem: Denn während ein Quantencomputer rechnet, dürfen die Qubits nicht gemessen werden. Auch das stört und vernichtet die Quanteneigenschaften, die für die weitere Informationsverarbeitung wichtig sind. Erschwerend kommt hinzu, dass es verschiedene Arten von Quantenfehlern gibt.

Da wäre etwa der sogenannte Bit-Flip-Fehler. Um ihn zu verstehen, kann man sich ein Qubit als einen Zeiger vorstellen, der in jede beliebige Richtung weisen kann. Zum Vergleich: Ein Bit eines herkömmlichen Rechners weist nur senkrecht nach oben – entsprechend der Zahl 1 – oder senkrecht nach unten – entsprechend der Zahl 0. Bei dem Bit-Flip-Fehler deutet der „Zeiger“ auf einmal in die entgegengesetzte Richtung. Dreht sich der Zeiger um seine senkrechte Achse, sprechen Experten von einem Phasen-Flip-Fehler. In beiden Fällen liefert das Qubit eine falsche Information.

## ERKENNEN UND KORRIGIEREN

Um diese Arten von Fehlern zu entdecken, haben Forschende in den letzten zwei Jahrzehnten verschiedene Rechenverfahren entwickelt. Dabei beobachten sie die Qubits, die fürs Rechnen benötigt werden, nicht direkt, sondern nutzen Hilfsqubits als Warnlampen, die anzeigen, wenn ein Qubit gleichsam „ausgeflippt“ ist. Die Verfahren ermöglichen es außerdem, die Fehler anschließend sofort zu korrigieren.

Eine andere Art von Fehler entsteht, wenn ein Qubit aus einer Ansammlung von Qubits verschwindet. Dabei wird entweder ein Quanten-

teilchen von den anderen nicht mehr als solches erkannt oder geht sogar ganz verloren. „Wir haben als Erste ein Verfahren entwickelt, mit dem sich diese Art von Fehlern mittels Hilfsqubits entdecken und korrigieren lässt, ohne die Rechnung zu stören“, sagt Prof. Markus Müller, Experte für theoretische Quantentechnologie vom PGI-2. Kooperationspartner der Universität Innsbruck haben mit einem kleinen Ionenfallen-Quantencomputer gezeigt, dass das Verfahren in der Praxis funktioniert. Markus Müller geht davon aus, dass es sich mit Methoden zur Korrektur von Bit-Flip- und Phasen-Flip-Fehlern kombinieren lässt.

## SCHÜTZENDE SCHALTUNG

Alle genannten Methoden funktionieren in gewisser Weise ähnlich wie die aktive Geräuschunterdrückung bei Kopfhörern: Diese blenden störende Geräusche von außen durch Gegenschall aus. Man hört auf diese Weise nur die gewünschte Musik. Bei den Qubits folgt nach einer erkannten Störung eine Rechenoperation, die die Störung beseitigt. Es bleibt die Information in ihrer ursprünglichen reinen Form.

Einen völlig anderen Ansatz haben Martin Rymarz und Prof. David DiVincenzo, Leiter des PGI-2, zusammen mit Partnern von der Universität Basel und dem QuTech Delft vorgestellt: Sie haben eine Schaltung entworfen, die die Qubits passiv vor Störungen schützen soll – sozusagen ein Kopfhörer, der Geräusche von außen gar nicht erst ans Ohr lässt und somit im besten Fall ohne Gegenschall auskommt. Im Zentrum dieser Schaltung steht ein Gyrotor, ein elektrisches Bauelement mit zwei Anschlüssen, das Strom an einem Anschluss mit Spannung am anderen koppelt.

„Bei Supraleiter-Quantencomputern könnte die aktive Fehlerkorrektur dank unserer Schaltung wegfallen oder zumindest weniger aufwendig gestaltet werden“, sagt Doktorand Martin Rymarz. Er ist überzeugt, dass sich der Bau eines Supraleiter-Quantencomputers mit einer großen Zahl von Qubits somit erheblich vereinfachen würde. DiVincenzo ist sich bewusst, dass dieses Konzept noch ein wenig seiner Zeit voraus sein mag, aber er ist optimistisch: „Angesichts der vorhandenen Expertise sehen wir die Möglichkeit, unseren Vorschlag in absehbarer Zeit im Labor zu testen.“

FRANK FRICK



„Aktuell ist es wichtiger, die Wahrscheinlichkeit von Fehlern zu verringern als die Zahl der Qubits zu steigern“

PROF. FRANK WILHELM-MAUCH



Mehr zur Jülicher Quantenforschung finden Sie online unter: [fzj.de/quanten](https://fzj.de/quanten)

# Modellieren für sauberes Wasser

In deutschen Flüssen und Seen ist zu viel Phosphat, das schadet den Ökosystemen. Deutschland will die Orientierungswerte bis 2027 in allen Gewässern einhalten. Ein Simulationsmodell aus Jülich hilft dabei.



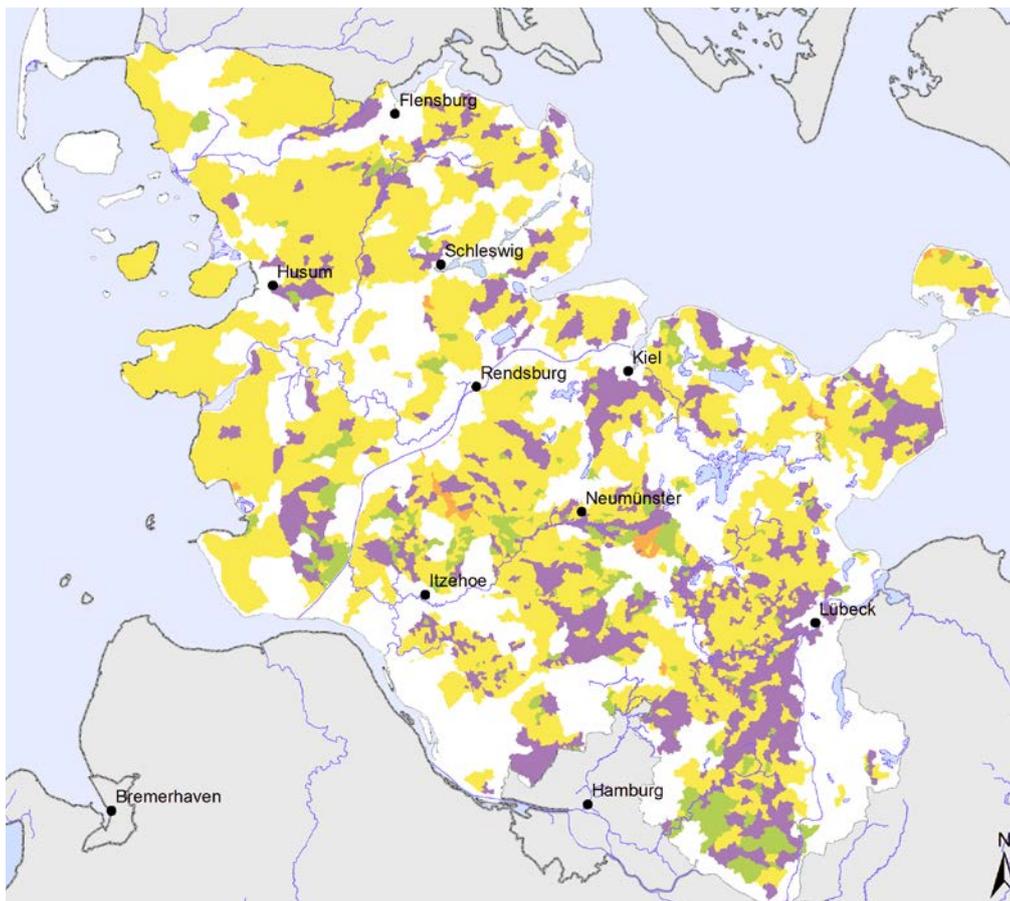
← Björn Tetzlaff untersucht, woher das Phosphat in Gewässern stammt. Dazu hat er das Modell MEPhos entwickelt, mit dem sich Quellen und Wege des Phosphats berechnen lassen.

Über Düngemittel und über Kläranlagen geraten jährlich rund 25.000 Tonnen Phosphor in deutsche Flüsse und Bäche. Das hat Folgen: Laut Umweltbundesamt liegt die Konzentration an mehr als der Hälfte aller Messstellen in Deutschland zu hoch. Bereits geringfügige Mengen des Nährstoffs reichen aus, um Pflanzen zum Wachsen zu stimulieren – ein Gramm kann beispielsweise rund 100 Gramm Algen aufbauen, was mitunter zu erheblichen ökologischen Probleme führt, etwa zu einem schwankenden Sauerstoffgehalt, der Fische und Kleinlebewesen bedroht.

Zwar ist die Phosphatkonzentration besonders in den 1980er und 1990er Jahren bereits deutlich zurückgegangen, weil man Kläranlagen technisch aufgerüstet hat und etwa für Wasch- und Reinigungsmittel Höchstmengen für Phosphat festgelegt wurden. Aber das reicht noch nicht. Die Phosphorbelastung trägt dazu bei, dass derzeit mehr als 90 Prozent der deutschen Oberflächengewässer in einer schlechten ökologischen Verfassung sind. Die Wasserrahmenrichtlinie (WRRL) der Europäischen Union sieht allerdings vor, dass bis 2027 alle in einem „guten Zustand“ sein sollen.

„Um die Phosphatkonzentrationen in allen Regionen zu bestimmen, reichen Messstellen allein allerdings nicht aus“, erklärt Dr. Björn Tetzlaff vom Institut für Bio- und Geowissenschaften (IBG-3). Mit dem Modell MEPhos hat er bereits vor rund 15 Jahren ein Werkzeug entwickelt, um die Phosphatbelastungen von Oberflächengewässern und deren Ursachen zu bestimmen. Es kann genau berechnen, aus welchen Quellen die Phosphatbelastung in einem bestimmten Flussabschnitt herrührt und über welchen Weg der Nährstoff dorthin gelangte. In Hessen und Schleswig-Holstein wird das stetig weiter optimierte Modell seit nunmehr zehn Jahren verwendet. Mittlerweile kommt es in neun Bundesländern sowie auf Bundesebene zum Einsatz.

Als Berechnungsgrundlage für MEPhos dienen Geodaten über Boden, Gestein und Relief sowie Klimadaten und Messwerte zu Phosphat einträgen. In der Regel stammt der Großteil des Phosphats aus Abwasser von Kläranlagen oder dem Düngemittelsatz der Landwirtschaft. Daneben gibt es weitere Quellen, etwa Industrieanlagen oder auch natürliche, wie



## Phosphatbelastung in Schleswig-Holstein

In den farbigen Gebieten wird der zulässige Orientierungswert der Wasserrahmenrichtlinie für Phosphat überschritten. Mit dem Modell MEPhos konnten die Jülicher Forschenden feststellen, welche Quelle für die zu hohen Phosphatwerte vorrangig verantwortlich ist – in Schleswig-Holstein ist das in den meisten Landesteilen die Landwirtschaft. Solche Informationen helfen den Behörden, zielgerichtete Gegenmaßnahmen zu ergreifen. In den weißen Landesteilen liegt die Konzentration des Stoffs unterhalb des Orientierungswerts.

- Landwirtschaft
- Kläranlagen/Kanalisationssysteme
- Industrie
- natürliche und sonstige Quellen
- Flussgebiete mit geringer P-Belastung

phosphathaltiges Gestein (siehe Grafik unten). Um zu prüfen, wie gut die Modellberechnungen mit der Realität übereinstimmen, vergleichen die Forschenden die simulierten Phosphatwerte mit denjenigen der Messstellen in Flüssen und Bächen.

### REGIONALE UNTERSCHIEDE

Für das Bundesland Hessen ergaben die Simulationen, dass die kommunalen Kläranlagen insgesamt den größten Anteil an den Phosphatbelastungen der Oberflächengewässer haben. „Dort ist das also die mit Abstand wichtigste Schraube, an der gedreht werden müsste“, erklärt Tetzlaff. Allerdings gebe es deutliche regionale Unterschiede, weshalb es in einigen Landkreisen Hessens nicht ausreicht, nur Kläranlagen zu verbessern. Ein Grund, weshalb der Jülicher Forscher davor warnt, Ergebnisse pauschal zu übertragen – etwa von einem Bundesland auf ein anderes oder gar auf die gesamte Bundesrepublik. In Schleswig-Holstein zum Beispiel sieht die Situation ganz anders aus als in Hessen.

Berechnungen mit MEPhos zeigten, dass dort landwirtschaftliche Quellen die ausschlaggebende Rolle spielen. „Hier muss man die Bauern in die Pflicht nehmen“, meint der Experte. Trotzdem solle man natürlich auch alte Kläranlagen technisch aufrüsten, sofern sie in einem Flussabschnitt eine signifikante Phosphatquelle darstellen.

Mithilfe eines kombinierten Modellsystems bestehend aus MEPhos und dem Modell GROWA – das ebenfalls Jülicher Forschende entwickelt haben und das den gesamten Wasserhaushalt einer Region betrachtet – lässt sich die Phosphatverteilung noch detaillierter auflösen. Die so für Schleswig-Holstein erstellte Karte zeigt, dass die Phosphatbelastung in mehr als der Hälfte der analysierten Gebiete zu hoch war (siehe Abbildung). „Wir konnten mit der Analyse Emissionsquellen aufzeigen und berechnen, um wie viel der Phosphateintrag gemindert werden muss, um bestimmte Zielkonzentrationen in Flüssen oder Seen zu erreichen“, sagt Tetzlaff. Den Berechnungen zufolge sollten in Schleswig-Holstein insgesamt jährlich 269 Tonnen Phosphor weniger in die Gewässer gelangen, um die EU-Werte einzuhalten. Das würde etwa einem Drittel der jetzigen Gesamtemission entsprechen.

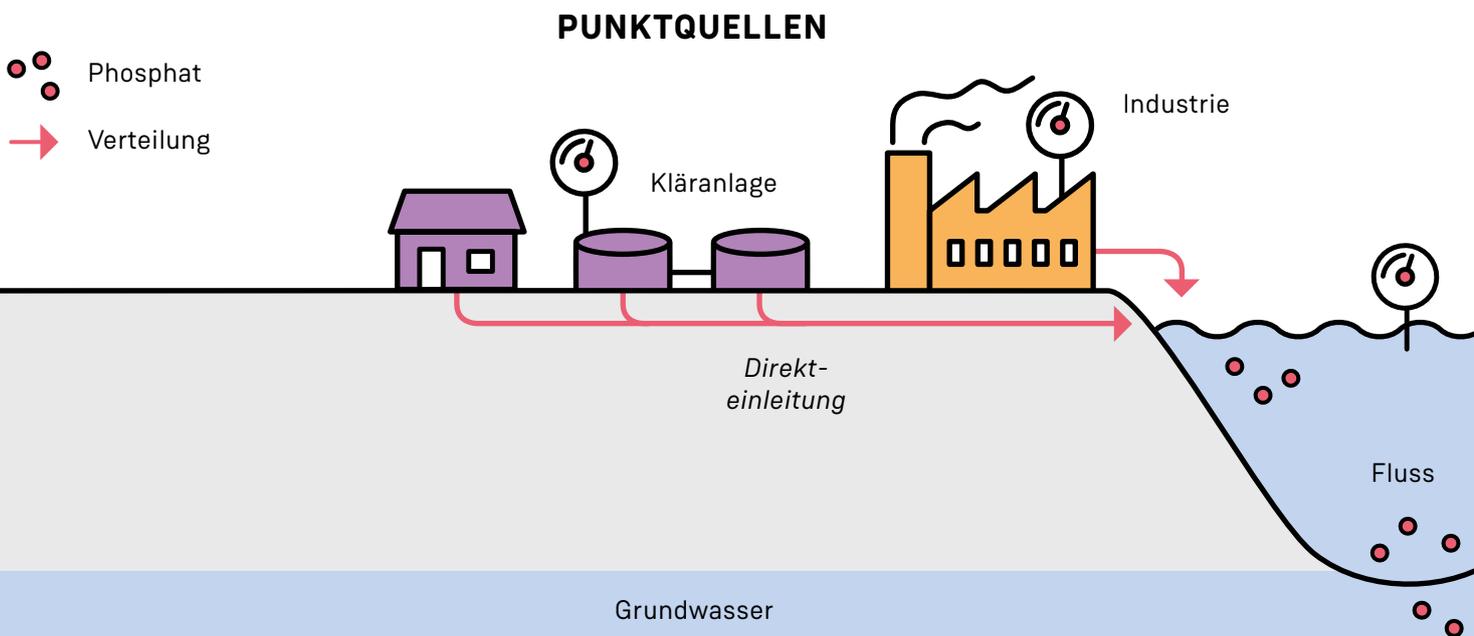
Hinweise, an welchen Stellen Maßnahmen zur Verbesserung der Gewässerqualität ergriffen werden sollten, sind gefragt. Regelmäßig wird die Jülicher Wasser-Expertise von Bundesländern und dem Bundesumweltministerium angefragt. Und langfristig sollen mithilfe von MEPhos bundesweite Daten für die Phosphatbelastung ermittelt werden. „Unser Modell unterstützt die Behörden dabei, die vorgegebenen Umweltqualitätsziele der WRRL zu erreichen“, freut sich Tetzlaff. Manchmal beginnt Umweltschutz eben am Computer.

JANOSCH DEEG



„Unser Modell unterstützt die Behörden dabei, die vorgegebenen Umweltqualitätsziele zu erreichen.“

DR. BJÖRN TETZLAFF



# So gelangt Phosphat in die Gewässer

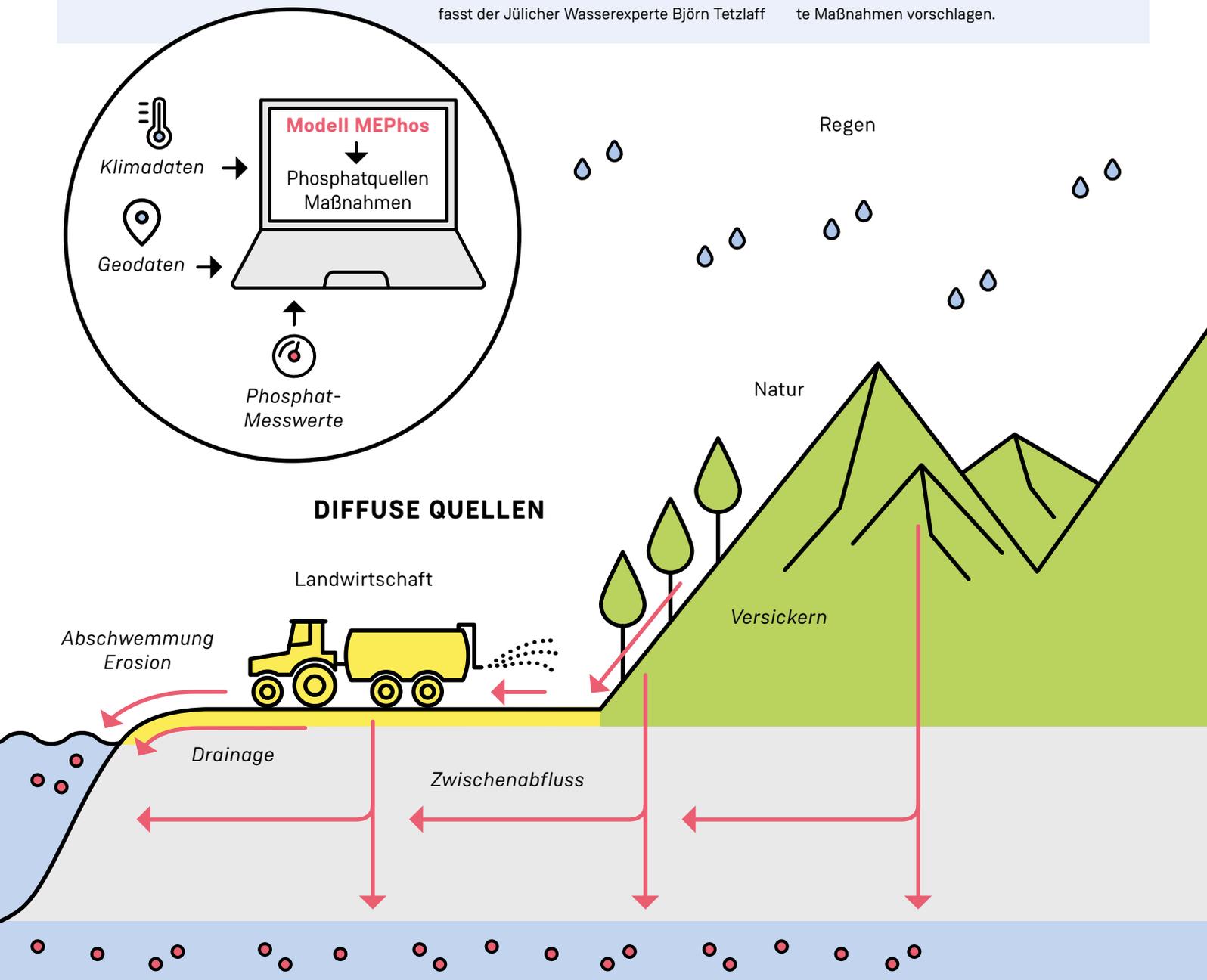
Mit dem Modell MEPhos lassen sich die Wege exakt berechnen

In einem Flusseinzugsgebiet mit unterschiedlicher Landnutzung gelangt Phosphat aus verschiedenen Quellen in den Fluss. Generell unterscheidet die Forschung hierbei zwischen punktuellen und diffusen Quellen. Ein einzelnes Abwasserrohr, etwa von einem Klärwerk oder einer Industrieanlage, liefert beispielsweise einen punktuellen Eintrag, da sich der Standort präzise benennen lässt. Gibt es keinen klar definierten Ursprungsort, werden die Quellen als diffus bezeichnet.

Darunter fällt beispielsweise überschüssiger Dünger, der durch Regenwasser von den Feldern ausgeschwemmt wird. Die Nährstoffe werden entweder direkt in die Flüsse gespült oder versickern in den Boden und wandern dort über den sogenannten Zwischenabfluss oder über landwirtschaftliche Drainagen in die Flüsse. Ein Teil gelangt mit der Zeit sogar bis ins Grundwasser. Auch aus Gestein kann sich Phosphat lösen und dann auf diese Weise im Wasser verteilen.

„Punktquellen sind im Allgemeinen der Abwasserwirtschaft zuzuordnen, diffuse Quellen hingegen der Landwirtschaft oder der Natur“, fasst der Jülicher Wasserexperte Björn Tetzlaff

zusammen. Über ganz Deutschland gemittelt liefern diffuse und punktförmige Quelltypen jeweils rund die Hälfte der Gesamtmenge der jährlichen Phosphateinträge. In das von Tetzlaff entwickelte Modell MEPhos fließen alle diese Einträge und etliche weitere Parameter wie Eigenschaften der Landschaft ein. Mit ihm lässt sich die Phosphatkonzentration im Wasser simulieren – und zwar nicht nur insgesamt, sondern für einzelne Abschnitte eines Gewässers. Dank diesem feinen Raster können die Forschenden bestimmen, auf welchen Wegen der Stoff von welcher Quelle in einen bestimmten Flussabschnitt gelangt ist, und zielgerichtete Maßnahmen vorschlagen.



# Immer offen für Neues

Bereits vor vier Jahren hat sie ihr größtes berufliches Ziel erreicht: eine Forschungsprofessur. Heute leitet Silvia Daun in Jülich die Arbeitsgruppe Computational Neurology und lehrt an der Uni Köln Computational Neuroscience. Die 41-Jährige liebt Mathe und singt gern. Ihr Lebensmotto: Das Leben ist zu bunt, um sich nur auf eine Sache zu versteifen.

**Sie gehören zu den 12 Prozent Frauen in der Wissenschaft, die den Sprung nach oben auf eine Professur geschafft haben. Haben Frauen es heute leichter, an die Spitze zu kommen – vor allem in den Naturwissenschaften und in der Mathematik?**

Wir haben schon viel erreicht, in diesen Studiengängen sehen wir etwa immer mehr Studentinnen und Doktorandinnen. Aber es liegt noch ein großes Stück Arbeit vor uns: Insbesondere auf der Ebene über der Promotion muss noch mehr getan werden, damit Frauen in Führungspositionen gelangen.

**Wie ist Ihnen der Sprung nach oben gelungen?**

Ich habe versucht, mich von den Meinungen anderer freizumachen, die Dinge einfach nicht zu nah an mich heranzulassen. Das hat mir sehr geholfen. Im Studium bin ich zum Beispiel auch gerne in Highheels und kurzem Rock in die Mathe-Vorlesung gegangen – egal, was geredet wurde. Und ja, ich habe Sprüche von Professoren gehört: Frauen gehören eigentlich nicht in die Mathematik. Da wurde bewusst provoziert, um uns Mädels zu verunsichern. Das war mir aber wurscht. Ich wusste, ich kann es. Lasst mich nur die Prüfung machen – dann werden wir schon sehen, ob ich hier hergehöre oder nicht. Aber: Ich hatte auch immer einen Plan B im Hinterkopf, für den Fall, dass Plan A nicht funktioniert oder ich der Wissenschaft den Rücken kehren muss.

**Wie sah denn Ihre berufliche Alternative aus?**

Die Wirtschaft. Nach meiner Promotion 2006 war ich noch nicht ganz sicher, ob ich Wissenschaft oder Wirtschaft machen will. Dann bekam ich ein Angebot aus den USA. An der Universität Pittsburgh habe ich unter anderem als externe Beraterin gearbeitet und meinen Marktwert in der Wirtschaft getestet. Damals wurde mir bewusst: „Das Leben ist so bunt, es hat so viel zu bieten.“ Diese Lebenserfahrung gebe ich als Mentorin und Tutorin auch immer weiter an meine Studentinnen: Macht die Augen auf, es gibt nicht nur Wissenschaft – auch wenn ich liebe, was ich tue. Man darf sich da nicht festlegen lassen. Es gibt auch andere Bereiche, in denen man sich weiterentwickeln kann.

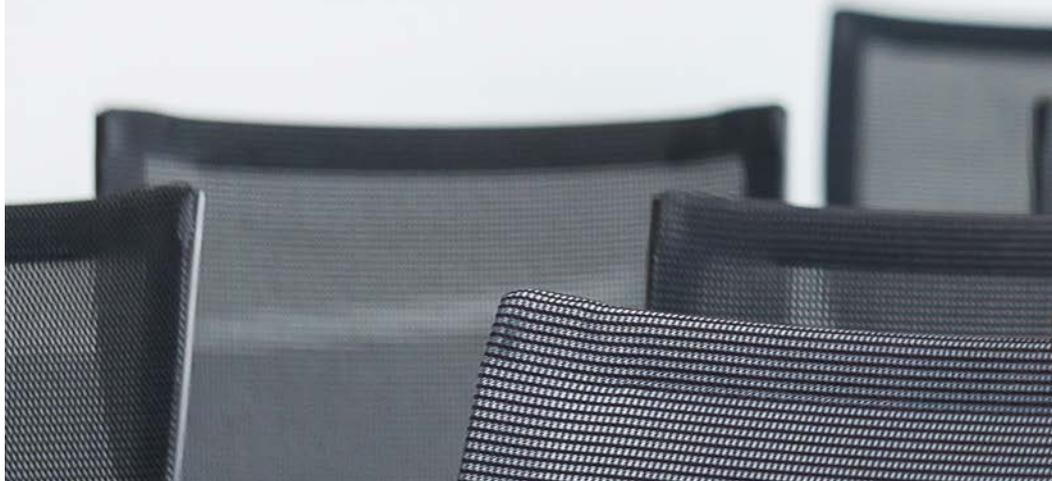
**Sie haben sich dann doch für die Wissenschaft entschieden. Warum?**

Nach meiner Rückkehr aus den USA hat die Deutsche Forschungsgemeinschaft mir im Emmy Noether-Programm eine eigene Nachwuchsgruppe bewilligt – damit nahm die wissenschaftliche Karriere an Fahrt auf.

**Was fasziniert Sie an der Mathematik?**

Vor allem die Anwendung: An der Uni Köln habe ich mich bis 2014 schwerpunktmäßig mit Laufbewegungen von Stabwehrschrecken beschäftigt – die Ergebnisse sind für die Robotik

Die Mathematikerin Silvia Daun arbeitet am Institut für Neurowissenschaften und Medizin (INM-3). Dort entwickelt sie Methoden, um das Gehirn zu verstehen. →



interessant. Aber auch im Energie- oder Finanzwesen, in der Biologie oder Kryptografie oder – wie hier in Jülich – bei neurologischen und neurodegenerativen Erkrankungen wie Schlaganfall und Parkinson – man braucht die Mathematik, um die Phänomene zu verstehen.

#### **Woran forschen Sie in Jülich?**

Mein Schwerpunkt liegt auf der Humanbiologie. Im Fokus steht die neuronale Informationsverarbeitung im menschlichen Hirn – und zwar bei der Kontrolle der Motorik: Wenn wir uns bewegen, greifen verschiedene motorische Systeme im Hirn ineinander, die über das Rückenmark unsere Muskeln ansteuern. Uns interessiert, wie das passiert – bei gesunden und kranken Menschen. Früher habe ich die Daten von Biologen bekommen. Jetzt mache ich – und das ist Neuland für mich – die Experimente mit den Probanden selbst, sprich: Ich erhebe Daten mithilfe von bildgebenden Verfahren, aber auch mit dem klassischen EEG, also der Messung von Gehirnströmen. Mithilfe der Daten entwickle ich neue Methoden und Netzwerkmodelle, mit denen ich vorhersagen kann, wie Alterung und neurologische Erkrankungen, zum Beispiel ein Schlaganfall, das koordinierte Zusammenspiel zwischen motorischen Hirnarealen beeinträchtigen und wie Veränderungen der Aktivität und Vernetzung dieser Hirnareale mit beeinträchtigtem motorischem Verhalten zusammenhängen. Und da wir zur Kalibrierung und Validierung der Modelle große Datensätze nutzen, entwickeln wir auch Verfahren zur Datenanalyse.

#### **Das sind dann bereits Arbeiten für den neuen Sonderforschungsbereich „Schlüsselmechanismen physiologischer und krankheitsbedingt gestörter motorischer Kontrolle“?**

Genau, wir haben 2021 die Arbeit aufgenommen. Es ist der erste SFB im Bereich der Motorik in den Neurowissenschaften, den die DFG je genehmigt hat. Im Mittelpunkt stehen neurologische Erkrankungen wie Schlaganfall, Parkinson oder die spinale Muskelatrophie, aber auch Tics oder Depressionen. Das sind Krankheitsbilder, die in der Regel mit motori-

schen Defiziten wie Lähmungserscheinungen oder gestörten Bewegungsabläufen einhergehen und damit die individuelle Unabhängigkeit beeinflussen. Wir – und damit sind Molekularbiologen, Neurobiologen, Neurologen, Mathematiker und Psychologen gemeint – wollen im SFB einen Überblick über die neurobiologischen Grundlagen der motorischen Kontrolle und deren Störungen entwickeln, aber auch individualisierte Therapie-Ansätze entwickeln. Dabei denken wir über alle Ebenen und Altersgrenzen hinweg: Vom einzelnen Molekül bis hin zum gesamten System und vom Kind bis zum Rentner.

#### **Beruflich haben Sie mit Ihrer Professur Ihr Karriereziel erreicht. Welches wissenschaftliche Ziel verfolgen Sie?**

Meine Vision ist es, einen Patienten sofort nach dem Schlaganfall behandeln zu können: Dass ich in Echtzeit über unsere Methoden erkenne, wo im Hirn die Störung ist und wie sich diese Störung auf die neuronale Vernetzung im Hirn auswirkt. Anhand dieser Echtzeit-Ergebnisse könnten Ärztinnen und Ärzte im Krankenhaus umgehend eine individuelle Behandlung einleiten.

DAS INTERVIEW FÜHRTE KATJA LÜERS.





# Lockdown als Real-Labor



Link zur Covid-19 Air Quality Data Collection:



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

Was passiert, wenn die Menschheit weniger Schadstoffe in die Luft pustet? Diese Frage beantwortet die Klimaforschung üblicherweise mit komplexen Rechenmodellen. Im Frühjahr 2020 änderte sich das.

Die Corona-Pandemie und die damit verbundenen Lockdowns bescherten nicht nur einen freien Blick auf den Himalaja oder surreale Bilder eines verlassen Venedigs. Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftlern bot sich eine bis dato einmalige Chance: Sie konnten live verfolgen, wie sich die Chemie der Atmosphäre ändert, wenn tatsächlich

weniger Luftschadstoffe ausgestoßen werden. Davon wiederum profitiert die Vorhersagekraft der Modelle.

„Die Maßnahmen, um die Ausbreitung von SARS-CoV-2 einzudämmen, haben die Welt für uns in ein Real-Labor verwandelt“, bestätigt Prof. Astrid



← Mit einem Zeppelin haben Astrid Kiendler-Scharr und ihr Team während der Corona-Pandemie Spurengase und Feinstaub in luftiger Höhe gemessen. Eine Übersichtsstudie fasst solche Messkampagnen aus der ganzen Welt zusammen.

Kiendler-Scharr, die am Institut für Energie- und Klimaforschung den Bereich Troposphäre leitet und seit Kurzem Vorstandsvorsitzende des Deutschen Klima-Konsortiums ist. „Forschende aus aller Welt messen, vergleichen und bewerten, wie sich die Zusammensetzung der Luft, die wir atmen, während der Lockdowns verändert hat und was bei den folgenden Lockerungen geschieht“, fügt sie an.

### OZONWERTE GESTIEGEN

Im April 2021 stellte ein internationales Team unter Jülicher Leitung eine erste umfangreiche Übersichtsstudie dieser weltweiten Messkampagnen vor, die zunächst Daten bis September 2020 umfasst. „Weitere Studien über weitere Zeiträume folgen“, sagt Astrid Kiendler-Scharr, „es dauert immer etwas, bis alle Messdaten korrekt ausgewertet und schließlich publiziert sind.“ Damit der Wissenstransfer schneller geht, richtete das Jülicher Team eine Website ein, auf der Forscherteams Messergebnisse fortlaufend hinzufügen können.

Ein zentrales - und zunächst wenig überraschendes - Ergebnis der Studie: Lockdowns, die einzig das Bremsen des Infektionsgeschehens zum Ziel hatten, reduzierten weltweit auch die Belastung der Atmosphäre mit Stickstoffdioxid und Feinstaub aus menschengemachten Quellen. „Und je strikter die einschränkende Maßnahmen, desto stärker die Wirkung“, erklärt die Forscherin. Die Werte für das bodennahe Ozon hingegen, das für Lebewesen ab einer gewissen Konzentration gesundheitsschädlich ist, sind in dieser Phase gestiegen. „Ursache sind atmosphärenchemische Prozesse, die durch ein Weniger an Stickoxiden in der Luft bedingt werden“, erläutert sie.

### WICHTIGE STELSCHRAUBE

Diese Daten sind die Basis, um noch besser berechnen zu können, wie sich die vom Menschen emittierten Luftschadstoffe auf die Atmosphärenchemie und den Strahlungshaushalt der Erde auswirken. „Über eine Reduktion des Ausstoßes von kurzlebigen Klimaschadstoffen, wie Aerosolen, Feinstaub, Kohlenwasserstoffen, Ozon und deren Vorläufern sowie Methan, halten wir eine enorm wichtige Stellschraube in Händen, um das Pariser Klimaabkommen zu erfüllen. Denn schnelle Einsparungen dieser Schadstoffe wirken sich in kurzer Zeit aus und können damit einen wesentlichen Beitrag leisten, das 1,5-Grad-Ziel einzuhalten“, betont Astrid Kiendler-Scharr. „Darüber hinaus leidet ja nicht nur das Klima unter diesen kurzlebigen Luftschadstoffen, sondern auch die Gesundheit der Menschen. Eine rasche Reduktion begegnet also gleich zwei große gesellschaftliche Herausforderungen.“

Mit Spannung wird daher die Veröffentlichung des Kapitels „Short-lived Climate Forcers“, auf Deutsch „kurzlebige Klimaschadstoffe“, des Sechsten Sachstandsberichtes des Weltklimarats (IPCC) im August 2021 erwartet. Astrid Kiendler-Scharr ist Leitautorin des Kapitels. In dieser Rolle sichtet und analysiert sie derzeit gemeinsam mit einem internationalen Team die weltweit vorhandene wissenschaftliche Literatur zum Thema. „Zu den Details unserer Analysen werden wir im August ausführlich Stellung beziehen“, kündigt sie an.

BRIGITTE STAHL-BUSSE



### Große Unterschiede

Die Konzentration kurzlebiger Klimaschadstoffe in der Atmosphäre nimmt rasch ab, sobald ihre Emissionen gestoppt werden - je nach Substanz innerhalb von Wochen oder wenigen Jahren. Anders sieht es bei dem heute in der Atmosphäre vorhandenen CO<sub>2</sub> aus. Die derzeitige hohe Konzentration bleibt - selbst bei Erreichen einer Null-Emissions-Quote - ohne Gegenmaßnahmen noch über Jahrhunderte bestehen.



## BESSERWISSEN



### UNIVERSALGELEHRTER

Helmholtz verknüpfte Medizin, Physik und Chemie. Er interessierte sich für Optik und Akustik, Meteorologie und Wärmelehre, aber auch für Psychologie, Philosophie und Musik.

### BEDEUTENDSTE ERKENNTNIS

„Energie kann weder erzeugt noch vernichtet werden. Sie kann nur von einer Form in andere Formen umgewandelt werden“ – grundlegendes Prinzip in der Physik.

# HERMANN VON HELMHOLTZ

Hermann von Helmholtz (1821-1894), Namensgeber der Helmholtz-Gemeinschaft, zählt zu den bedeutendsten Forschern Deutschlands. Am 31. August 2021 wäre er 200 Jahre alt geworden.



### DENKER UND ERFINDER

Er schrieb viele theoretische Werke, experimentierte und erfand außerdem technische Geräte, etwa den Augenspiegel, mit dem sich der Augenhintergrund untersuchen lässt.



### WISSENSCHAFTSORGANISATOR

Er baute drei wissenschaftliche Institute mit auf, darunter die Physikalisch-Technische Reichsanstalt in Berlin, die erstmals Grundlagenforschung mit industrieller Anwendung verband.



### UMWEG ARZT

Eigentlich wollte Helmholtz Physik studieren. Doch dafür reichte das Einkommen der Familie nicht. Die Verpflichtung zum Militärdienst sicherte ihm dann ein nahezu kostenloses Medizinstudium.

### WO LEBT SEIN ERBE IN JÜLICH WEITER?

In der Hirnforschung, der Mikroskopie, der Thermodynamik sowie der Mustererkennung durch künstliche Intelligenz – und im Streben, Disziplinen miteinander zu verbinden.



# GEFÄLLT UNS

ONLINESPIEL CORONA MINISTER

## Führe dein Land durch die Pandemie

COVID-19 hält die Welt seit über einem Jahr fest im Griff. Während der Pandemie muss die Politik im Kampf gegen das Coronavirus täglich schwerwiegende Entscheidungen treffen.

Wie schwierig das ist, zeigt ein neues Onlinespiel von ScienceAtHome, einem Team aus Forschenden, Designern, Künstlern und Spielentwicklern aus Dänemark. Als Corona Minister übernimmt der Spielende die Verantwortung für das fiktive Land Randomburg. Es gilt, Gesundheit, Ökonomie und Bürgerrechte gegeneinander abzuwägen und das Land möglichst schnell durch die Pandemie zu führen.

- SCIENCEATHOME.ORG/GAMES/CORONA-MINISTER-GAME -

FALSCHMELDUNGEN ERKENNEN

## Die fünf Methoden der Desinformation

Falschmeldungen im Internet sind nicht erst seit Corona ein Problem. Gerade zu Themen aus der Wissenschaft werden immer wieder irreführende Informationen verbreitet:

beim Klimawandel ebenso wie bei der Wirksamkeit von Impfungen oder den Gesundheitsgefahren von Autoabgasen. Damit Laien Desinformationen besser erkennen, hat klimafakten.de Tricks und Methoden zusammengefasst, die Verbreiter von Falschmeldungen häufig verwenden: Pseudo-Experten, Logikfehler, unerfüllbare Erwartungen, Rosinenpickerei und Verschwörungsmymen.

- GO.FZJ.DE/PLURV -



SPEKTAKULÄRE AUFNAHMEN

## „Nature“ kürt Wissenschaftsbilder 2020

Faszinierende Aufnahmen der embryonalen Entwicklung eines Clownfisches oder ein mikroskopisch kleines Boot, das sich durch eine chemische Reaktion selbst antreiben kann – die Fachzeitschrift „Nature“ hat die besten Wissenschaftsbilder des vergangenen Jahres gekürt. Mit dabei ist eine beeindruckende Aufnahme, die unsere Helmholtz-Kollegen des Alfred-Wegener-Instituts für Polar- und Meeresforschung zeigt: Während der MOSAiC-Forschungsexpedition im Nordpolarmeer wuchten sie ein Messgerät bei klirrender Kälte übers Eis.

- NATURE.COM/IMMERSIVE/D41586-020-03436-5/INDEX.HTML -

# FORSCHUNG IN EINEM TWEET

Nerven zeigen – und zwar die im Gehirn!  
Das möchte Nachwuchsforscherin Miriam  
Menzel mit 80.000 Euro Förderung durch  
den Klaus Tschira Boost Fund.



Die promovierte Physikerin vom Institut für Neurowissenschaften und Medizin (INM-1) entwickelt ein Messsystem, um Nervenfaserbahnen im menschlichen Gehirn noch genauer als bisher zu kartieren. Sie kombiniert dafür Polarisations- und Streulicht-Messungen. Mit dem Boost Fund ermöglicht die Klaus Tschira Stiftung zusammen mit der German Scholars Organization jungen Forschenden, neue Karrierewege einzuschlagen und eigene, riskantere sowie interdisziplinäre Projekte durchzuführen.

[go.fzj.de/Menzel](https://go.fzj.de/Menzel)