



## Wie sieht die Zukunft aus?

Energieszenarien helfen, den günstigsten Weg in die Klimaneutralität zu finden

### GENAU HINSCHAUEN

Wo künftig das Wasser knapp werden könnte

### GEFAHRLOS AUSSCHALTEN

Wie sich Krebszellen selbst zerstören

### GEMEINSAM RECHNEN

Warum sich Super- und Quantencomputer ideal ergänzen



## Eingeschwebt

In Jülich bleibt die Energiewende nicht in der Luft hängen. Anfang des Jahres schwebte ein neuer Baustein ein, um die Energieversorgung der Zukunft zu erforschen: ein LOHC One Reactor zur chemischen Speicherung von Wasserstoff. Er wird mit der Wärmeverzögerungszentrale (WVZ) verbunden, die seit 2023 den Campus beheizt. Das Ziel: Die Wasserstoffspeicherung mit Liquid-organic hydrogen carriers (LOHC) effizienter zu machen. Beim Einspeichern des Wasserstoffs in LOHC wird Wärme freigesetzt. Diese fließt künftig ins Campus-Wärmenetz. Um den Wasserstoff wieder freizusetzen, wird Wärme benötigt. Die liefert dann die WVZ. So wird die Effizienz der Wasserstoffspeicherung deutlich erhöht.

Mehr zum LOHC One Reactor:  
[go.fzj.de/effzett-LOHC-Anlieferung](https://go.fzj.de/effzett-LOHC-Anlieferung)

#### 4 Aus der Redaktion | Impressum

#### 5 NACHRICHTEN

##### TITELTHEMA

#### 8 Ein Blick in die Zukunft

Energieszenarien zeigen Wege auf, wie Deutschland kostengünstig seine Klimaziele erreicht.

#### 14 So gelingt die Energiewende

Wie die Energieversorgung in 20 Jahren aussehen könnte.

##### FORSCHUNG

#### 16 Mehr Chancengleichheit

Strukturbiologin Irene Vercellino engagiert sich für mehr Frauen in MINT-Berufen und ist selbst Rollenvorbild.

#### 18 Wo das Wasser knapp wird

Besser planen, um Konflikte zu vermeiden: Eine Studie zeigt, wie es künftig um regionale Wasservorräte bestellt ist.

#### 21 Woran forschen Sie gerade, Herr Ravi Shankar?

#### 22 Wenn Krebszellen sich selbst vernichten

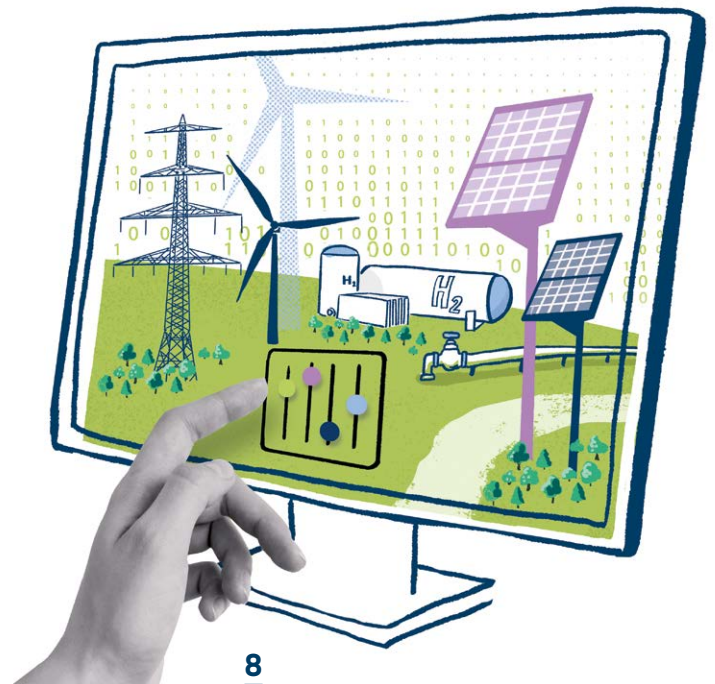
Eine neue Technologie schaltet Tumoren gezielt aus.

#### 24 Grüner Sprit für Schiffe und Lkw

Der Preis „Innovator des Jahres“ im Bereich Energie geht an ein Projekt mit Jülicher Beteiligung.

#### 25 Bakterien fressen Nylon

Mikroorganismen helfen, Plastik zu zersetzen und in höherwertige Substanzen umzuwandeln.



8



16



18



33

#### 26 Die Wissenschaft des Unvorstellbaren

100 Jahre Quantenphysik: Interview mit Tommaso Calarco zu Vergangenheit und Zukunft der Forschung.

#### 28 Power-Duos

Hybridsysteme aus Quantenrechnern und Supercomputern vereinen das Beste aus beiden Welten.

#### 31 Transparentes Sprachtalent

Jülicher Forscher erklären das Besondere des deutschen Open-Source-Sprachmodells Teuken-7B.

#### 33 Das letzte Puzzlestück

Ein neuer Halbleiterlaser lässt sich direkt in Silizium-Chips integrieren.

#### 34 Besserwissen: Large Language Model (LLM)

#### 35 Gefällt uns

#### 36 Forschung in einem Tröt

# Den Weg zum Ziel finden



Zukunft lässt sich berechnen – Doctor Strange, ein Superheld aus der Welt der Marvel Comics, würde das vermutlich bejahen. Im Film „Infinity War“ prüft er über 14 Millionen mögliche Zukunftsszenarien, um das eine Szenario zu finden, in dem die Guten den Oberbösewicht Thanos besiegen können. Und hat damit Erfolg.

Auch Jülicher Wissenschaftler:innen interessieren sich für eine spezielle Zukunft: Kann Deutschland sein Ziel erreichen, bis zum Jahr 2045 klimaneutral zu werden? Und wenn ja, welcher Weg ist der kostengünstigste? Die Forscher:innen haben zwar keine Superkräfte, aber eine etablierte Methode: die Szenariomethode. Was das ist, wie sie funktioniert und zu welchem Ergebnis unsere Forscher:innen gekommen sind, verrät unsere Titelgeschichte. Achtung Spoiler: Das mit den Klimazielen kann ebenfalls klappen!

Um die Welt von morgen geht es auch in weiteren Beiträgen:  
Wo genau in Deutschland könnte künftig Wasser knapp werden?  
Was bringt hybrides Computing? Wie bringt man Krebszellen dazu, sich selbst zu vernichten?

Viel Vergnügen beim Blick nach vorne!

Ihre effzett-Redaktion



Die Printausgabe der effzett im Abo?  
Ganz einfach:  
[go.fzj.de/effzett-abo](https://go.fzj.de/effzett-abo)



## 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 (Vi.S.d.P.)

**Autor:innen:** Janosch Deeg, Dr.-Ing. Katja Engel, Dr. Frank Frick, Dr. Irina Heese, Christian Hohlfeld, Dr. Marie-Isabel Ludwig, Dr. Regine Panknin, Dr. Arndt Reuning, Dr. Barbara Schunk, Tobias Schlößer, Brigitte Stahl-Busse, Anna Tipping

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

**Bildnachweise:** Forschungszentrum Jülich (35); Forschungszentrum Jülich/Jenö Gellinek (3 Mitte re., 16-17); Forschungszentrum Jülich/Frank Herrmann (19 u.); Forschungszentrum Jülich/Sascha Kreklau (3 Mitte li., 5 o., 6 o., 7 li., 10 o., 11 u., 13 o., 18 li., 20, 21, 23 o., 26 u., 28 o., 30 o., 31, 32); Forschungszentrum Jülich/Ralf-Uwe Limbach (33 u.); Forschungszentrum Jülich/Bernd Nörig (25 u.); Forschungszentrum Jülich/Jhonny Tiscareno (3 u., 33 o.); Lisa Capponi/Universität Innsbruck (4 re.); erstellt mit DALL-E (5 u.); Hydrogenious (2); Innovator

des Jahres/Lara Diederich (24 u.); Diana Köhne (Titel, 3 o., 8-9, 11 o., 12-13 u., 14-15, 34 (Illustrationen)); Matthias Pesch/Forschungszentrum Jülich (36); SeitenPlan (23 (Grafik), 25 o. (mit Adobe Firefly), 26-30 (Illustrationen)); alle im Folgenden genannten Motive sind von Shutterstock.com: April stock (22 u.); Aun Photographer (24 o.); Glebzter (19 o.); Lana Sham (10 u. (Hinterlegung)); spacezerocom (34 (Hintergrund)); Vectorillustrations (4); Yeti studio (6 u. (Montage: SeitenPlan))

**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.**



ENERGIEWENDE

## Eine Platz-Frage

Golfplätze nehmen in vielen Industrieländern deutlich mehr Raum ein als Wind- und Solarparks – in Deutschland beanspruchen sie 1,25-mal so viel Platz wie die vorhandenen Solarparks. Das zeigt eine Studie von Jülicher Wissenschaftler:innen aus dem Bereich Systemanalyse. Sechs der zehn untersuchten Länder könnten etwa die Photovoltaik-Kapazitäten mehr als verdoppeln, wenn sie ähnlich große Flächen für Solaranlagen zur Verfügung stellen würden. „Das bedeutet nicht, dass Golfplätze umgewandelt werden sollen. Aber es ist wichtig zu hinterfragen, wie Land verteilt wird“, betont Dr.-Ing. Jann Weinand, Hauptautor der Studie.

- INSTITUTE OF CLIMATE AND ENERGY SYSTEMS -

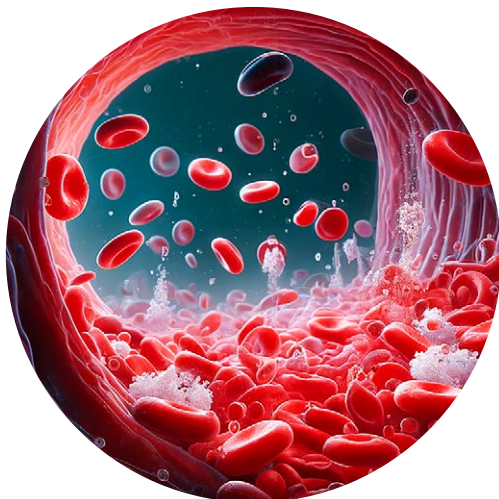


BIOINFORMATIK

## Mit Blutfetten Krankheiten besser erkennen

Bestimmte Fettmoleküle im Blut – sogenannte Ceramide – gelten als vielversprechende Kandidaten, um frühzeitig Diabetes, Adipositas und Herz-Kreislauf-Erkrankungen zu erkennen. Eine internationale Kooperation mit Jülicher Beteiligung hat wichtige Fortschritte auf dem Weg zu entsprechenden Biomarker-Tests erzielt: zum einen in Hinblick auf standardisierte Messmethoden, zum anderen beim Festlegen von Referenzwerten für Ceramide, um krankhafte Abweichungen feststellen zu können. Die Ergebnisse bilden die Grundlagen für künftige biologische und medizinische Studien.

- INSTITUT FÜR BIO- UND GEOWISSENSCHAFTEN -





## Vorstand komplett

Seit März 2025 ist der Vorstand des Forschungszentrums Jülich wieder vollständig. Der Niederländer Prof. Laurens „Kobus“ Kuipers (2.v.l.) wechselte von der Technischen Universität Delft ans Forschungszentrum, wo er nun als Vorstandsmitglied für den wissenschaftlichen Geschäftsbereich I zuständig ist. Der Experimentalphysiker ist ein Pionier auf dem Gebiet der Nano-Optik. Bereits zum 1. Januar hatte Dr. Stephanie Bauer (l.) das Amt der stellvertretenden Vorstandsvorsitzenden übernommen. Die Betriebs- und Volkswirtin ist für den Bereich Infrastruktur zuständig und leitete zuvor den Projektträger Jülich. Die weiteren Mitglieder des Führungsquartetts: die Vorstandsvorsitzende Prof. Astrid Lambrecht (3.v.l.) und das Vorstandsmitglied Prof. Peter Jansens, zuständig für den wissenschaftlichen Geschäftsbereich II.

# 36

## Gene

stehen im konkreten Verdacht, eine Rolle bei bipolarer Störung zu spielen. Die psychische Erkrankung, unter der weltweit etwa 40 bis 50 Millionen Menschen leiden, führt zu starken Stimmungsschwankungen. Ein internationales Team, darunter der Jülicher Experte Prof. Andreas Forstner, hatte die Gene von mehr als 2,9 Millionen Personen verglichen –unter ihnen rund 150.000 Menschen mit einer bipolaren Störung. Die 36 identifizierten Gene könnten Ansatzpunkte für Medikamente sein. Sie sollen nun genauer untersucht werden.

- INSTITUT FÜR NEUROWISSENSCHAFTEN UND MEDIZIN -



**Blieben  
Sie auf dem  
Laufenden!**

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



[go.fzj.de/effzett-newsletter](https://go.fzj.de/effzett-newsletter)

## MIKROPLASTIK

## Wenn Reifen Gummi geben

Jedes Jahr entstehen allein in Deutschland mehr als 100.000 Tonnen Mikroplastik durch Abrieb von Autoreifen. Ein deutsch-japanisches Team um den Jülicher Physiker Dr. Bo Persson hat untersucht, was die Abnutzung von Gummireifen beeinflusst. Die Erkenntnisse fließen in eine neue Theorie zum Verschleiß ein, welche die Forscher derzeit entwickeln.

Der neue Ansatz berücksichtigt unter anderem, wie rau eine Oberfläche ist – etwa unterschiedlicher Straßenbelag – und dass mehrere Kontakte mit der Straße nötig sind, damit sich Gummiteilchen vom Reifen lösen.

- PETER GRÜNBERG INSTITUT -



## KLIMAFORSCHUNG

## Dürren verändern Bodenprozesse

Die Trends sind eindeutig: Die CO<sub>2</sub>-Konzentration steigt, das Klima wird wärmer. Treten zusätzlich wiederholt Dürren auf, werden sich Eigenschaften der Böden stark verändern. Zu diesem Schluss kommt eine internationale Studie mit Jülicher Beteiligung. Experimentelle Klimasimulationen der Forscher:innen zeigen unter anderem, dass unter diesen Bedingungen Wasserflüsse im Boden eingeschränkt werden. Dadurch steht Pflanzen weniger Wasser zu Verfügung. Sind Pflanzen gezwungen, sparsamer mit Wasser umzugehen, könnte das längerfristig ihre Wachstums- und Regenerationsfähigkeit beeinträchtigen.

- INSTITUT FÜR BIO- UND GEOWISSENSCHAFTEN -

## STRUKTURBIOCHEMIE

## Forschungspreis an James Eills

Deutschlands wichtigste Auszeichnung für Forscher:innen in der Aufbauphase ihrer Karriere geht nach Jülich: Dr. James Eills vom Institut für Biologische Informationsprozesse (IBI-7) erhält einen der mit 200.000 Euro dotierten Heinz Maier-Leibnitz-Preise 2025 der Deutschen Forschungsgemeinschaft. Eills leitet seit 2024 eine von der Helmholtz-Gemeinschaft geförderte Forschungsgruppe, die chemische und physikalische Methoden zur Hyperpolarisation von Molekülen entwickelt. Solche Techniken können die Signalintensität in der magnetischen Resonanz erhöhen. Das ermöglicht es, etwa chemische Prozesse in Mikrochips oder biologische Vorgänge im menschlichen Körper detaillierter zu untersuchen.

- INSTITUT FÜR BIOLOGISCHE INFORMATIONSPROZESSE -

# Ein Blick in die Zukunft

Deutschland hat sich verpflichtet, bis zum Jahr 2045 treibhausgasneutral zu werden. Detaillierte Energieszenarien skizzieren die Wege, die zu diesem Ziel führen können. Und sie können dazu beitragen, den bestmöglichen Pfad zu identifizieren.

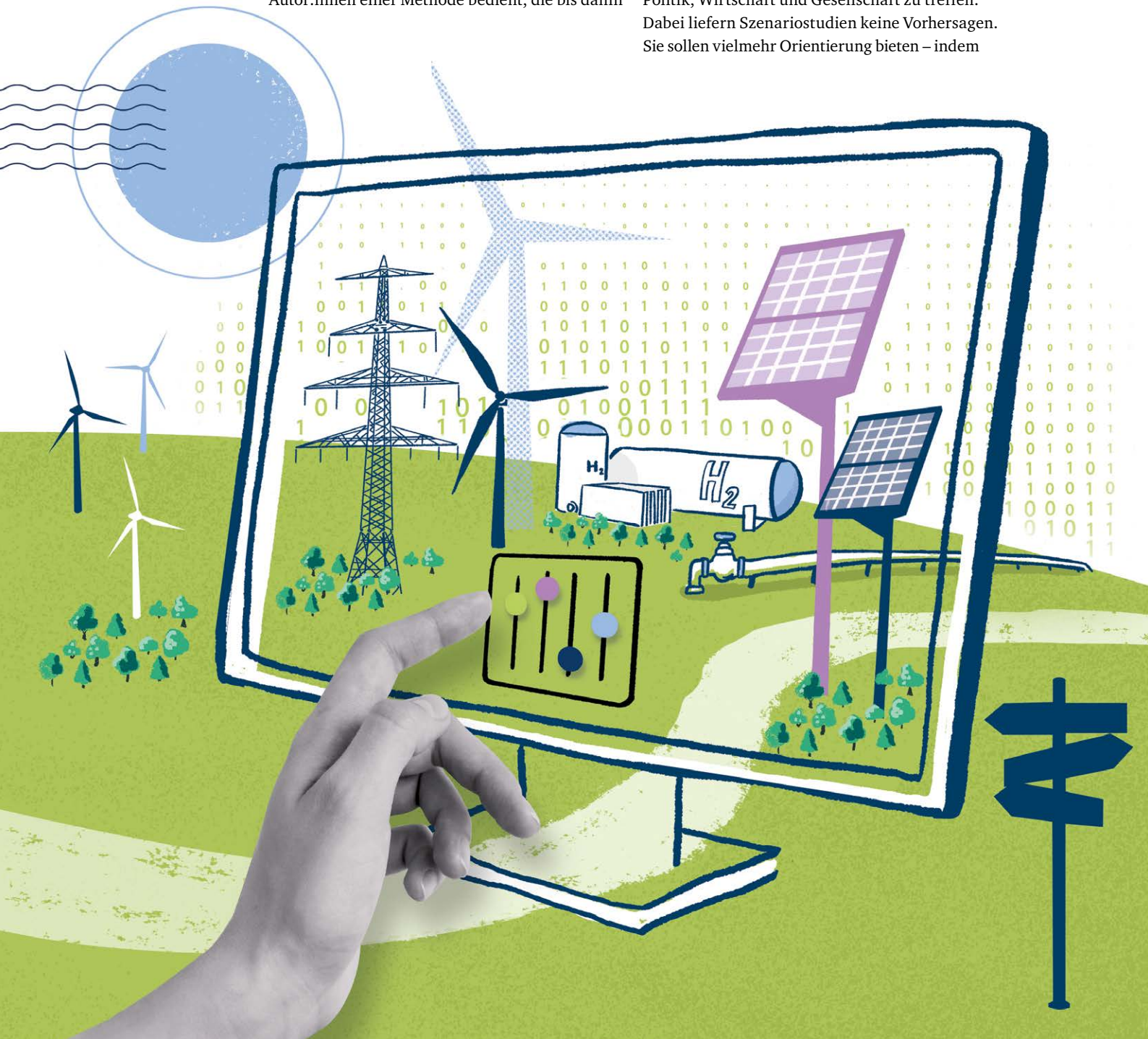


Im Jahr 1972 lag unser Heute noch in ferner Zukunft. Doch schon damals fragten sich die Menschen, wie ihre Welt in über 50 Jahren aussehen würde. Die großen Herausforderungen waren nicht länger zu übersehen: Die globale Bevölkerung wuchs. Würde es in Zukunft noch genug Nahrung für alle geben? Würde der ungezügelter Abbau von Rohstoffen die Natur zerstören?

Als Antwort auf diese Fragen veröffentlichte der Club of Rome, ein Zusammenschluss von Expert:innen aus über 30 Ländern, die Studie „Die Grenzen des Wachstums“. Dazu hatten sich die Autor:innen einer Methode bedient, die bis dahin

in der Öffentlichkeit kaum Beachtung gefunden hatte: Sie hatten verschiedene Szenarien durchgespielt, wohin sich die Menschheit im kommenden Jahrhundert entwickeln könnte. Dabei waren sie von bestimmten Annahmen ausgegangen, etwa zur Bevölkerungsentwicklung, zur Effizienz der Landwirtschaft und zu den Vorräten an Rohstoffen. Unter diesen Vorzeichen hatte ein Computermodell simuliert, wohin sich die Welt in Zukunft bewegen würde.

Mittlerweile haben sich solche computergestützten Szenariostudien überall dort etabliert, wo es darum geht, weitreichende Entscheidungen in Politik, Wirtschaft und Gesellschaft zu treffen. Dabei liefern Szenariostudien keine Vorhersagen. Sie sollen vielmehr Orientierung bieten – indem





↑ Modelliert, analysiert und bewertet Infrastrukturen zum Transport von Energieträgern wie Strom, Wasserstoff oder Wärme: Theresa Klütz, Leiterin des Teams Sektorkopplung am ICE-2.

sie aufzeigen, welche Handlungsoptionen innerhalb eines Lösungsraums bestehen; wie sich unter verschiedenen Randbedingungen die Pfade in die Zukunft verzweigen. Der Weltklimarat IPCC zum Beispiel beschreibt in seinen Berichten alternative Zukunftspfade des Weltklimas – in Abhängigkeit von den globalen CO<sub>2</sub>-Emissionen.

Jülicher Forscher:innen nutzen die Szenariotechnik, um einen Blick in die Zukunft der deutschen Energieversorgung zu werfen. Die Bundesrepublik hat sich ein ambitioniertes Ziel gesetzt: Bis zum Jahr 2045 soll das Land treibhausgasneutral werden, also unterm Strich keine Treibhausgase mehr ausstoßen. So sieht es das im Jahr 2019 verabschiedete Klimaschutzgesetz vor. Doch ist das zu schaffen? Oder droht die Energiewende auf halbem Weg zu versanden? „Unsere Szenariostudien zeigen: Wir können diese Transformation schaffen – sowohl technisch als auch wirtschaftlich“, sagt Dr. Theresa Klütz von der Jülicher Systemanalyse (ICE-2), siehe S. 14/15.

## HARTE UND WEICHE FAKTOREN

Szenariostudien folgen einem etablierten Muster. „Am Anfang steht eine Fragestellung“, erklärt die Forscherin. „Meist zu Themen, die in der Politik gerade diskutiert werden. In unserem Fall eben: Wie sieht Deutschlands Weg zur Treibhausgasneutralität aus?“ Als Erstes werden die Randbedingungen definiert für die zukünftige

Entwicklung des Energiesystems. Diese Annahmen kombinieren üblicherweise quantitative und qualitative Aspekte, harte und weiche Faktoren. Zwei wichtige harte Faktoren sind zum Beispiel das Bevölkerungswachstum und die wirtschaftliche Entwicklung, ausgedrückt im Bruttoinlandsprodukt.

„Die weichen Faktoren, werden dagegen als Storylines bezeichnet“, sagt Prof. Heidi Heinrichs vom ICE-2. „Sie beschreiben den Hintergrund der Szenarien, sie bereiten sozusagen die Bühne für die eigentlichen Berechnungen.“ Zum Beispiel: Wird Deutschland seinen proeuropäischen Kurs weiterverfolgen? Wie ist es um die Akzeptanz bestimmter Technologien bestellt? Wie entwickelt sich das Planungsrecht für neue Windräder? Eine wichtige qualitative Annahme bei den Jülicher Studien zur Treibhausgasneutralität 2045 war beispielsweise, dass die heutigen Industriestandorte erhalten bleiben und keine Abwanderung stattfindet.

Alle diese Faktoren der Storylines beschreiben den Kontext der zukünftigen Entwicklung. Deshalb spricht die Wissenschaft hier auch von Kontext-Szenarien. Die ausgewählten Kontext-Szenarien müssen in nackte Zahlen umgesetzt und diese dann in komplexe Modelle eingespeist werden. Diese bilden das Herzstück der Szenariostudien. Die Forscher:innen vom ICE-2 haben

## ETHOS – Ein modularer Werkzeugkasten

Die Modell-Suite ETHOS (Energy Transformation PatHway Optimization Suite) ist eine Eigenentwicklung der Jülicher Systemanalyse. Den Kern bilden zwei große Deutschlandmodelle. Mit ihnen lässt sich modellieren, wie sich die Energieversorgung entwickeln wird. Eines davon bildet für ganz Deutschland ab, wie die einzelnen Sektoren des Energiesystems zusammenspielen; das andere rechnet mit einer hohen regionalen Auflösung.

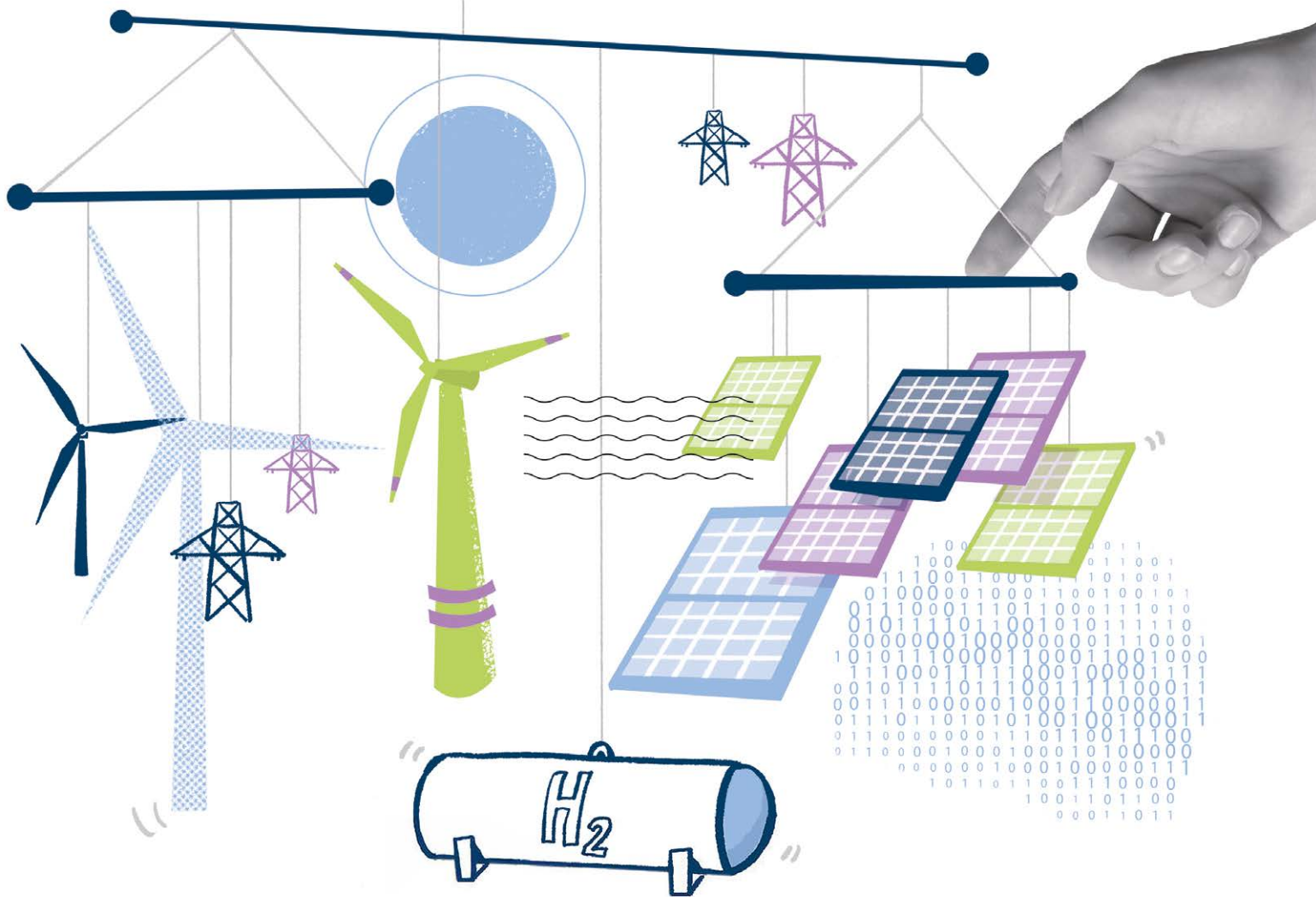
Je nach anfänglicher Fragestellung lassen sich weitere Tools und Teilmodelle hinzufügen. Manche von ihnen beschreiben Energieimporte, berücksichtigen den globalen Markt oder brechen die Energieversorgung auf kleinere Einheiten herunter, wie zum Beispiel einzelne Quartiere oder

Gebäude innerhalb einer Stadt. Andere Werkzeuge liefern die Input-Daten für die Deutschlandmodelle, etwa zu verfügbaren Flächen für Wind- und Solarenergieanlagen oder auch Wetterverläufe. So ist ETHOS in der Lage, Energiesysteme zu analysieren und – unter Berücksichtigung von CO<sub>2</sub>-Zielen – hinsichtlich der Kosten zu optimieren.

Die Daten für die Modelle stammen aus systematischen Recherchen der Fachliteratur und Datenbanken, erklärt Prof. Heidi Heinrichs von der Jülicher Systemanalyse (ICE-2): „Mittlerweile haben wir begonnen, auch mit KI-basierten Methoden zu arbeiten, um die Flut der Veröffentlichungen noch erfassen zu können. Damit halten wir unsere Technologie-Datenbanken auf

dem neuesten Stand und reichern sie mit aktuellen Entwicklungen an.“

Im Lauf der Jahre wurde ETHOS immer weiter ausgebaut, erklärt Dr. Theresa Klütz, ebenfalls vom ICE-2: „Dahinter verbirgt sich ein großes Gleichungssystem. Wenn wir unser Modell aufbauen und die Technologien eingeben, werden diese Gleichungen alle hintereinandergereiht und optimiert. Werden die Modelle weiterentwickelt, kommen neue Gleichungen oder Ungleichungen hinzu, die man berücksichtigen muss.“ Berechnet werden die Modelle üblicherweise auf Hochleistungscomputern. Je nach Detailgrad und zeitlicher Auflösung dauert das einige Tage bis zu einer Woche.



**„Unsere Szenario-  
studien zeigen:  
Wir können diese  
Transformation  
schaffen – sowohl  
technisch als auch  
wirtschaftlich.“**

THERESA KLÜTZ

dazu die Modell-Suite ETHOS (siehe Kasten) entwickelt. „Modell-Suiten, also Modellbaukästen, wie ETHOS sind reine Mathematik“, sagt Dr. Stefan Vögele, der am ICE-2 die Abteilung Sozioökonomie leitet. In die enthaltenen Modelle fließen nicht nur die Kennzahlen aus den Kontext-Szenarien ein: In ihnen sind auch Tausende

von Techniken mit ihren Kosten abgelegt, etwa Windkraftanlagen, Wasserstoffpipelines und Energiespeicher. Und auch die Abhängigkeiten dieser Techniken untereinander.

**NICHT NUR EINE ZUKUNFT**

Alle diese Informationen wertet das Modell aus. Da sich etwa das Planungsrecht oder der Ausbau der Erneuerbaren sehr unterschiedlich entwickeln können, entsteht ein ganzer Strauß von Szenarien – jedes davon eine mögliche Zukunft, je nachdem welchen Weg das Modell einschlägt. „Die Kunst besteht darin, unter gewissen Vorzeichen den optimalen Weg zu finden“, so Theresa Klütz.

Im Fall der treibhausgasneutralen Zukunft ging es darum, aus dem Strauß der Szenarien den Pfad herauszufiltern, der die geringsten Kosten verursacht. „Daher haben wir dem Modell nicht nur vorgegeben, dass der Energieverbrauch gedeckt werden soll und bestimmte CO<sub>2</sub>-Einsparziele eingehalten werden sollen. Gleichzeitig sagten wir auch, suche nach einem Weg, der die



↑ Heidi Heinrichs leitet die Abteilung Ressourcenstrategien am ICE-2. Sie beschäftigt sich mit Strategien, um etwa Materialengpässe bei der Energiewende zu vermeiden.

Kosten minimiert. Das Modell setzte daraufhin etwa die vielen Techniken – von der Art der Kraftwerke über Stromnetze bis hin zu Energiespeicher – so ein, dass sich die niedrigsten Kosten ergeben“, erläutert Vögele.

### WAS WÄRE, WENN ...?

Auf diese Weise können die Forscher:innen ermitteln, welche Weichen wie gestellt werden müssen. Ein klares Ergebnis der Studie zur Treibhausgasneutralität 2045 ist zum Beispiel, dass der Ausbau der Erneuerbaren zügig voranschreiten muss – um den erwarteten Strombedarf zu decken. Vom Tempo dieses Ausbaus hängt wiederum stark ab, wie viel Wasserstoff Deutschland künftig importieren muss. Das betrifft nicht nur die Erneuerbaren in Deutschland, sondern auch bei den europäischen Nachbarn. Denn: Bei einer zügigen Erweiterung von Wind- und Sonnenenergie kann der Bedarf

„Das Modell setzte die vielen Techniken so ein, dass sich die niedrigsten Kosten ergeben.“

STEFAN VÖGELE

an Wasserstoff allein durch europäische Quellen gedeckt werden. „Potenzial für Windkraft ist vor allem in Skandinavien und auf den britischen Inseln gegeben, in Südeuropa für Photovoltaik. Voraussetzung dafür ist aber, dass alle Länder innerhalb der EU weiterhin zusammenarbeiten“, so Theresa Klütz. Verläuft der Ausbau schleppend



oder funktioniert die europäische Zusammenarbeit nicht, müssten mehr teure globale Importe die Versorgung in Deutschland ergänzen.

Bewegt sich Deutschland auf dem optimalen Pfad in Richtung seiner Energiezukunft, werden die Stromkosten für alle günstiger und stabiler. Die Szenariostudien zeigen aber auch, welche Konsequenzen drohen, wenn dieser Weg nicht eingehalten wird. Verzögert sich etwa der Ausbau von Hochspannungstrassen, die Strom aus Windturbinen von der Küste nach Süden transportieren, muss das an anderer Stelle kompensiert werden. Dann müssten mehr Anlagen gebaut werden, die aus erneuerbarem Strom Wasserstoff herstellen. Dieser Energieträger könnte dann in Verbindung mit Speichern die Schwankungen im Angebot flexibel abfedern.

Im Süden Deutschlands müssten dafür andere Quellen stärker ausgebaut werden, vor allem die Solarenergie. Für all das wären dann aber deutliche Mehrinvestitionen nötig.

Und wo liegen die Grenzen der Szenariomethode? „Wir müssen immer gewisse Randbedingungen annehmen, die uns einen Strauß von Szenarien liefern“, sagt Klütz. Manche Entwicklungen und Ereignisse lassen sich allerdings nicht vorhersehen. „Ob etwa die Industrie in Zukunft irgendwann von den traditionellen Standorten beispielsweise in Nordrhein-Westfalen oder im Rhein-Main-Gebiet abwandern wird, können wir nicht sagen. Aber wir können das als Randbedingung formulieren und erhalten dann eine alternative Zukunft.“

Außerdem können unerwartete Ereignisse wie etwa der Überfall Russlands auf die Ukraine eintreten oder Rahmenbedingungen sich ändern. So gingen Szenariostudien für das Energiekonzept der Bundesregierung aus dem Jahr 2010 noch davon aus, dass sich der Stromverbrauch in Deutschland bis 2050 um ein Viertel reduziert. Eine aktuelle Szenariostudie des Teams um Vögele hat aber berechnet, dass sich der jährliche Strombedarf in Deutschland im Jahr 2045 im Vergleich zu heute verdoppeln wird.

## UNGEWISSHEIT REDUZIEREN

Es bleibt dabei: Hundertprozentig sichere Prognosen gibt es nicht. Ob im Jahr 2045 wirklich 90 Prozent der Energie in Deutschland aus Wind- und Solaranlagen stammen werden, lässt sich nicht mit Gewissheit sagen. Wohl aber: Dieses Szenario dürfte der kostengünstigste Weg sein, um die Klimaziele zu erreichen. Für geänderte Randbedingungen können die Modelle neu berechnet werden und selbst einschneidende Ereignisse und ihre Folgen lassen sich mit den Jülicher Energiesystemmodellen durchspielen.

In der Helmholtz-Plattform zur Gestaltung robuster Energiesysteme und Rohstoffversorgung (RESUR) schaut sich das ICE-2 etwa die Auswirkungen von Extremereignissen auf die Energieversorgung an: Kriege, Naturkatastrophen oder bedrohliche Klimaphänomene. Daraus lässt sich dann auf die Resilienz unseres Energiesystems schließen und die Ungewissheit bei der Transformation des deutschen Energiesystems so weit wie möglich reduzieren. Heidi Heinrichs: „Ich wünsche mir, dass unsere Szenarien den Entscheidungsträgern eine wissenschaftlich basierte Unterstützung liefern und damit einen Beitrag zum Gelingen der Energiewende leisten.“

ARNDT REUNING



↑ Stefan Vögele, Leiter der Abteilung Sozioökonomie am ICE-2, beschreibt und bewertet mögliche Wege der Energiewende aus Sicht unterschiedlicher Akteure.



# So gelingt die

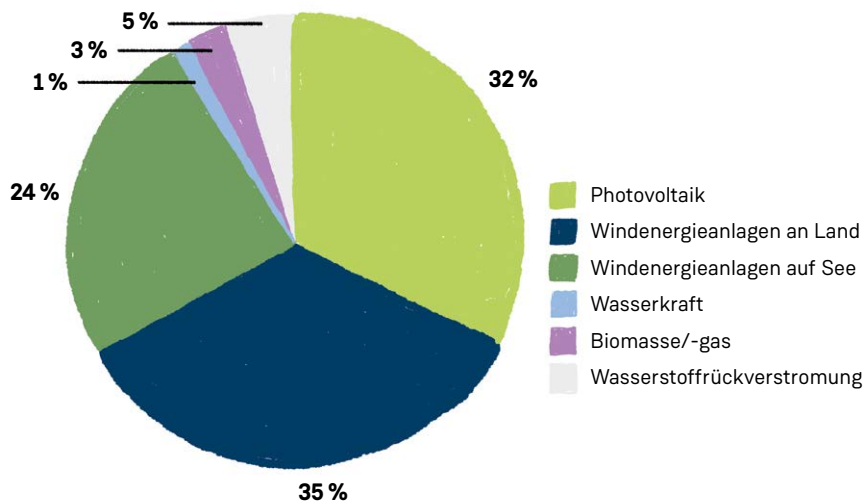
Klimaneutral bis 2045? Wie Deutschland dieses Ziel am wirtschaftlichsten erreichen kann, haben Fachleute der Jülicher Systemanalyse (ICE-2) berechnet. Ihre Szenariostudien zeigen, wie die deutsche Energieversorgung in 20 Jahren aussehen könnte.

## STROMVERBRAUCH

Bis 2045 wird sich der Stromverbrauch von derzeit rund 512 Terawattstunden vermutlich mehr als verdoppeln. Das liegt vor allem an mehr:

- Elektrofahrzeugen
- Wärmepumpen
- Elektrolyseuren zur Erzeugung von Wasserstoff (H<sub>2</sub>)
- Power-to-Heat (Wärmeerzeugung für Industrieprozesse)

## STROMMIX 2045



## AUSBAU DER ERNEUERBAREN

33.000 Windräder an Land (6 Megawatt-Referenzturbinen). Freiflächen-Photovoltaikanlagen: 4.900 Quadratkilometer, das Fünfeinhalbfache der Grundfläche Berlins

## GEFÄHRDET DIE TRANSFORMATION ARBEITSPLÄTZE?

Insgesamt nicht: Es gibt ein Risiko im Autobau und der metallverarbeitenden Industrie. Dafür steigt die Nachfrage in anderen Sektoren, etwa beim Bau von Windrädern oder Energiespeichern.



# Energiewende



## WINDENERGIE

Ausbau vor allem in Norddeutschland



## PHOTOVOLTAIK

Ausbau überall im Land, bevorzugt an ertragreichen Standorten



## INDUSTRIEZENTREN

Industriezentren, etwa in Nordrhein-Westfalen, Rhein-Main-Gebiet, verbrauchen viel Energie



## STROMNETZ

Trassen in Nord-Süd-Richtung, um Windstrom zu transportieren



## PIPELINES

Wasserstoff-Transport in ganz Deutschland, fast komplett über bestehendes, umgewidmetes Erdgasnetz (ca. 18.000 Kilometer)



## GASKRAFTWERKE

Gaskraftwerke springen ein, wenn nicht genug Wind und Sonne zur Verfügung stehen. Sie verbrennen Biomasse, Biogas und Wasserstoff



## GASKAVERNEN

Gaskavernen vor allem in Norddeutschland: Sie speichern mit Windstrom erzeugten Wasserstoff über längeren Zeitraum.

H<sub>2</sub>

## WASSERSTOFFIMPORTE

303 Terawattstunden (TWh) Wasserstoff importiert Deutschland kosteneffizient aus anderen Staaten Europas (etwa aus Skandinavien, wo ausreichend Strom aus Wasserkraft zur Verfügung steht, aus dem windreichen Großbritannien oder dem sonnenreichen Süden Europas). Rund 40 Prozent des Wasserstoff-Bedarfs (217 TWh) erzeugt Deutschland durch Elektrolyse selbst



## KERNKRAFTWERKE

Kernkraftwerke sind aus Sicht der Jülicher Expert:innen ökonomisch nicht sinnvoll. Im Vergleich zu Windkraft und Solarstrom seien sie zu teuer. Nur bei realen Investitionskosten von Kernkraftwerken unter 6.600 Euro pro Kilowatt wären sie wettbewerbsfähig. Bisherige Kraftwerke liegen über dieser Schwelle, zum Teil kommen sie auf über 10.000 Euro pro Kilowatt.

# Mehr Chancengleichheit

Warum gehen der Wissenschaft auf dem Weg in Führungspositionen so viele talentierte Frauen verloren? Das ist eine Frage, die Juniorprofessorin Irene Vercellino neben ihrer Forschung zur Strukturbioogie umtreibt.

**D**ie Wissenschaftlerin, die seit zwei Jahren ihre eigene Forschungsgruppe am Ernst Ruska-Centrum für Mikroskopie und Spektroskopie mit Elektronen (ER-C) leitet, brennt für ihr Fachgebiet.

Wenn Irene Vercellino über Mitochondrien spricht – das sind fundamentale Bestandteile aller biologischen Zellen mit Zellkern (siehe Kasten) – ist sie mit Begeisterung dabei: „Mitochondrien sind die Kraftwerke der Zellen“, schwärmt sie. Doch Fehler in der inneren Membran von Mitochondrien können schwere Organschäden und neurodegenerative Erkrankungen verursachen. „Manche dieser Fehler sind sogar so gravierend, dass betroffene Organismen nicht lebensfähig sind“, so Vercellino.

Sie möchte herausfinden, wie genau sich die mitochondriale Membran faltet und wieso das Mitochondrium als Ganzes nicht mehr funktioniert, wenn dabei etwas schiefgeht.

Hierzu nutzt sie modernste Technologie wie die Kryo-Elektronenmikroskopie am ER-C und die Hochleistungsrechner des Jülich Supercomputing Centre. Mit deren Hilfe macht sie die Bausteine der Mitochondrien in ihrer natürlichen Umgebung bis ins atomare Detail sichtbar.

Neben ihrer wegweisenden Forschung setzt sich Irene Vercellino für Chancengleichheit ein, insbesondere in puncto Führungspositionen in den Natur- und Ingenieurwissenschaften. Bereits während ihrer Postdoc-Zeit am österreichischen Institute of Science and Technology Austria schloss sie sich der Initiative „STEM-fatale“ an.

STEM steht für Science, Technology, Engineering, and Mathematics – gleichzusetzen mit der deutschen Abkürzung MINT: Mathematik, Informatik, Naturwissenschaft und Technik. STEM-fatale möchte das Bewusstsein für Stereotype schärfen und diese dadurch aufbrechen. Ein Beispiel ist das Phänomen der „leaky pipeline“ in den MINT-Fächern. Es beschreibt das sukzessive Verschwinden hochqualifizierter Hochschulabsolventinnen mit jeder Qualifikations- und Karrierestufe. Selbst in Fächern, in welchen zunächst das Geschlechterverhältnis ausgeglichen ist, scheiden Frauen beim Rennen um Führungspositionen nach und nach aus.

„Eine Studie der Harvard Business School zeigt, dass Frauen als hochqualifizierte Arbeitskräfte nicht mangels Talent, sondern durch gesellschaftlich geprägten Erwartungsdruck und Vorurteile verloren gehen“, berichtet Vercellino.

## Mitochondrien

Alle Lebewesen mit Zellkern, wie Pflanzen, Tiere und Menschen, haben in ihren Zellen Mitochondrien. Diese Zellbestandteile versorgen den Organismus mit Energie. Sie sind ummantelt mit einer Doppelmembran, die im Inneren der Mitochondrien vielfach gefaltet ist. Genau dort – in der inneren Membran – finden wichtige Prozesse für die Energiezufuhr der Zelle statt. Membranfehler, welche die Funktion der Mitochondrien beeinträchtigen, haben teils schwerwiegende Folgen wie Herz- und Muskelkrankheiten oder Demenz. Sie verursachen im Verlauf der Zeit aber auch übliche Alterserscheinungen, wie Osteoporose oder das Ergrauen der Haare.

← Prof. Irene Vercellino erhielt im November 2024 den renommierten Förderpreis „For Women in Science“ von L'Oréal, der Deutschen UNESCO-Kommission und dem Deutschen Humboldt-Netzwerk. Im Dezember 2024 wurde sie darüber hinaus für ihre herausragende wissenschaftliche Arbeit in das Junge Kolleg der Nordrhein-Westfälischen Akademie der Wissenschaften und der Künste aufgenommen.

Außerdem haben Frauen schlechtere Karten bei Bewerbungen, wie eine Studie der Universität Toronto von 2024 ergab. Die beteiligten Forscher:innen hatten identische Bewerbungsunterlagen mit männlich oder weiblich klingenden Namen oder nichtbinärer Identitätsbezeichnung eingereicht.

### ROLLEN GERECHTER VERTEILEN

Das Ergebnis: Die Bewerbung der vermeintlichen weiblichen Bewerberinnen hatten signifikant schlechtere Chancen, ein Stellenangebot zu erhalten, als die männlichen, Personen mit nichtbinärer Bezeichnung schnitten noch schlechter ab.

Privat lebt Irene Vercellino bereits Chancengleichheit. Seit sie mit ihrem Ehemann in Deutschland wohnt, hat sich ihr Alltag nochmals intensiviert. Im vergangenen Jahr sind die beiden Eltern geworden. Die Rollenverteilung: Irene arbeitet mit Schwung an ihren Forschungsprojekten. Ihr Mann kümmert sich momentan Vollzeit um das Baby.

Für gleiche Chancen im Wissenschaftsbetrieb braucht es aber mehr als eine ausgeglichene familiäre Rollenverteilung, ist Vercellino überzeugt: „Auch am Arbeitsplatz muss sich etwas ändern. Denn noch immer werden Wissenschaftlerinnen dort aufgrund ihres Geschlechts benachteiligt“, sagt sie.

So verfolgt STEM-fatale mehrere Ziele, welche die Initiative mit der Umdeutung des Akronyms STEM beschreibt: Survey, Transformation, Exchange, and Mentoring – Umfrage, Transformation, Austausch und Mentoring. Mithilfe einer wissenschaftlichen Umfrage wollen die Initiator:innen die wesentlichen Faktoren identifizieren, warum weniger Frauen als Männer Führungspositionen besetzen.

Aus den Ergebnissen erarbeiten sie dann evidenzbasierte Strategien, um bildungs- und gesellschaftspolitische Stolpersteine für Frauen auszuräumen. Auch Mentoring- und Coaching-Plattformen, die den Austausch untereinander fördern, sowie Schulungen und Workshops stehen auf dem Plan.

Eine weitere Idee aus dem Werkzeugkasten des STEM-fatale-Teams möchte Irene Vercellino gerne nach Deutschland bringen: „Wir haben im Raum Wien ein erfolgreiches Format etabliert, um Mädchen für Wissenschaft zu begeistern. Die Jugendlichen konnten beim #GirlsGoTech-Kreativwettbewerb entweder eine berühmte Frau oder deren Leistung aus Forschung und Technik darstellen oder selbst in eine Erfinder:innen-Rolle schlüpfen.“ Einen vergleichbaren Wettbewerb könnte sie sich auch gut in der Region Aachen-Jülich vorstellen: „Rollen Vorbilder ermutigen, sich nicht vom Weg abbringen zu lassen. So können wir schon früh die Weichen stellen, dass Talente dabeibleiben.“

# Wo das Wasser knapp wird

Jahre mit extremer Dürre und Trockenheit werden häufiger. Wo genau zukünftig das Wasser knapp wird, haben Jülicher Forscher auf der regionalen Ebene ermittelt.

**D**ie Erdbeerfelder erhalten noch etwas Wasser, der Mais nebenan bleibt trocken, kein Schwimmbad wird mehr befüllt. Neue Fernleitungsnetze liefern Wasser aus Nachbarregionen und mindern Verteilungskonflikte. Wasserbeiräte besprechen, wie das begehrte Nass gerecht verteilt wird. So kann es in Zukunft bei Dürreperioden aussehen, weil mögliche Maßnahmen schon lange vorher geplant wurden.



„So eine landesweite Studie gab es bislang nicht.“

FRANK HERRMANN

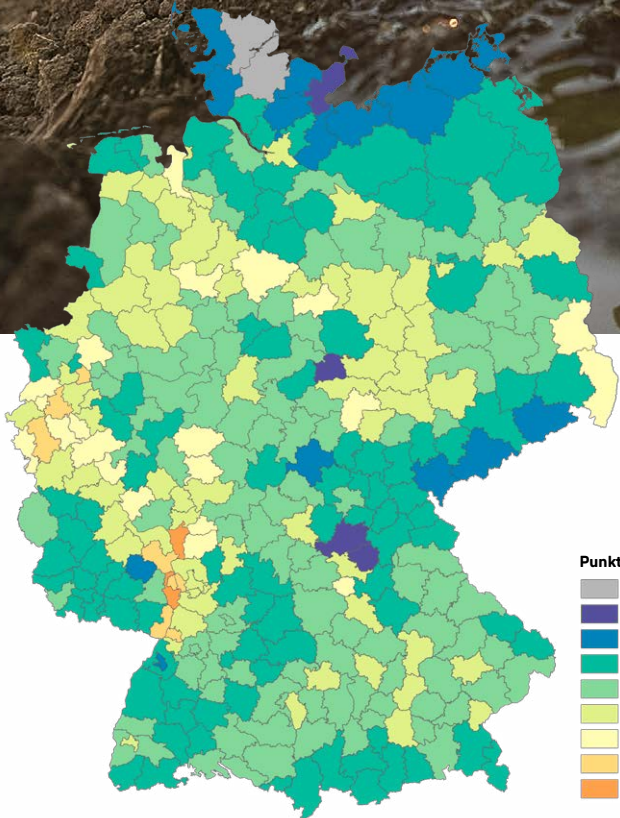
Das war im Sommer 2018 noch anders. Die anhaltende Trockenheit traf die Landwirtschaft unvermittelt und kam einer Naturkatastrophe mit nationalem Ausmaß nahe. Aus diesem Grund initiierte das Umweltbundesamt die Studie WADKlim, um die Auswirkung des Klimawandels auf die Wasserverfügbarkeit und mögliche Anpassungen an Trockenheit und Dürre zu untersuchen. Denn eines war klar: Jahre mit Wassermangel werden bald häufiger stattfinden und betroffene Regionen sollten rechtzeitig Handlungskonzepte erarbeiten können.

## RISIKEN ERKENNEN

Wo genau es zukünftig viel oder wenig Wasser gibt, haben Prof. Stefan Kollet und Dr. Frank Herrmann vom Institut für Bio- und Geowissenschaften (IBG-3) in einem Teilprojekt von WADKlim ermittelt. In einer ersten Studie analysierten sie nicht nur, wie viel Wasser in den Landkreisen in den Jahren 1961 bis 2020 jeweils zur Verfügung stand, sondern auch, wie stark es genutzt wurde.

Für die Simulationen nutzten sie die von ihnen entwickelten Wasserbilanzmodelle mGROWA und ParFlow. So identifizierten sie „Grundwasser-Bilanz-Risiko-Gebiete“ in Deutschland, in denen die Gefahr für Nutzungskonflikte groß sein kann. Diese Regionen reichen von der Oberlausitz über das Thüringer Becken bis nach Niedersachsen, liegen am Niederrhein oder im Rhein-Main-Gebiet. Die Jülicher Forscher verknüpften für ihre Analyse erstmals den Wasserverbrauch in der Landwirtschaft mit der Veränderung der regionalen Grundwasserneubildung.





### Grundwasser-Bilanz-Risiko-Gebiete

Die Regionen in Deutschland stehen vor unterschiedlichen Herausforderungen, das Grundwasser nachhaltig zu nutzen. Je größer die Herausforderungen, desto höher die Punktzahl. Für diese und weitere Übersichtskarten haben die Forscher:innen die in Jülich entwickelten Modelle mGROWA und ParFlow genutzt. Das praxisorientierte Wasserbilanzmodell mGROWA wird in Nordrhein-Westfalen als offizieller Standard für wasserrechtliche Verfahren eingesetzt und liefert verlässliche Daten zur regional differenzierten Grundwasserneubildung. ParFlow ermöglicht es, den Wasserkreislauf zu simulieren und so hydrologische Prozesse zu bewerten.



**„Wir können nun besser abschätzen, wie viel Wasser in den einzelnen Regionen verfügbar sein wird.“**

STEFAN KOLLET

„So eine landesweite Studie gab es bislang nicht“, hebt Frank Herrmann hervor. „Unsere Simulationen zeigen, wo wir schon heute die Grundwasserressourcen stärker nutzen, als dies während einer längeren Dürre eigentlich angebracht wäre.“

Doch wie verändert sich die Situation durch den Klimawandel? Wo könnte es im Jahr 2100 in längeren Dürrezeiten zu Nutzungskonflikten zwischen Bevölkerung, Landwirtschaft und Industrie kommen? Wo müsste zum Beispiel die Bewässerung in der Landwirtschaft eingeschränkt werden? Das untersuchten Frank Herrmann und Stefan Kollet in einer zweiten Studie. Sie entwickelten dafür umfangreiche Szenarien. So berücksichtigten sie etwa den zukünftigen Bewässerungsbedarf in der Landwirtschaft, welche Folgen der Klimawandel darauf hat und wie sich die öffentliche Wasserversorgung verändern könnte.

„Dank dieser Studie können wir nun besser abschätzen, wie viel Wasser künftig in den einzelnen Regionen verfügbar sein wird und in welchem Maße die landwirtschaftliche Nachfrage dem gegenüberstehen könnte – auch unter Berücksichtigung verschiedener Unsicherheiten“, sagt Stefan Kollet.

„Grundsätzlich kann Wasserknappheit jede Region treffen“, betont Frank Herrmann. So können auch in Mittelgebirgen Quellen versiegen, wie jetzt schon in Hessen und Bayern passiert. Andere Regionen müssen eventuell neue Brunnen bauen, da das Grundwasser zu tief absinkt. Oder Talsperren könnten leerlaufen, weil im Winter zu wenig Wasser nachfließt. „Die Infrastrukturen müssen in einigen Regionen angepasst werden. Dennoch, das Wasser wird uns nicht ausgehen“, beruhigt Frank Herrmann. Deshalb spricht der Forscher ungern von einer kommenden Wasserkrise, denn „wir können auch aufgrund dieser Studien mögliche regionale Nutzungskonflikte erkennen und abmildern“.

### WERKZEUG HILFT REGIONEN

Solche potenziellen Konflikte sollten jetzt schon bei der Planung wasserwirtschaftlicher Anlagen mitgedacht werden, so Herrmann. Dabei können die Ergebnisse als Grundlage für regionale strategische und politische Entscheidungen dienen – und zwar bis auf regionaler Ebene, denn die Forscher haben die jeweilige natürliche Wasserverfügbarkeit mit einer Auflösung von bis zu 100 Metern für jeden einzelnen Landkreis ermittelt.

Die Studien der Jülicher Forscher liefern zudem leicht verfügbare Informationen, die Regionalverwaltungen, Wasserversorger und die Landwirtschaft nutzen können. Ein schneller Blick in eine Übersichtskarte zeigt ihnen, welcher Wasserstress auf ihre Region zukommt, die Daten finden sie auf der Plattform Jülich DATA. „Mit diesen Daten können sie nicht nur die Wasserbewirtschaftung verbessern, sondern potenzielle regionale Nutzungskonflikte erkennen und vorausschauend Maßnahmen diskutieren“, sagt Frank Herrmann.

Einiges würden die Forscher gern noch genauer untersuchen. Noch fehlt etwa, wie lokale Kontaminationen des Grundwassers mit Schadstoffen die Wasserverfügbarkeit verringern oder inwiefern sich der Wasserbedarf neuer Dürre-resistenter Feldfrüchte auswirkt. Aber auch mit den bereits vorliegenden Ergebnissen ist ein wichtiger Schritt getan, damit bei der nächsten Dürre keine Region völlig unvorbereitet ist.

KATJA ENGEL



Mehr zur WADKlim-Studie und Grundwasserdaten:  
[go.fzj.de/effzett-WADKlim](https://go.fzj.de/effzett-WADKlim)



## **Woran forschen Sie gerade, Herr Ravi Shankar?**

**Dr. Sandheep Ravi Shankar, Leiter einer Emmy Noether-Gruppe am Institute of Energy Materials and Devices, IMD-3: Photovoltaik**

„Ich optimiere Perowskit-Solarzellen. Dieser relativ junge Solarzellentyp ist vielversprechend, weil er preiswert herstellbar ist und theoretisch auch sehr effizient. Bisher sind diese Solarzellen aber nicht lange genug haltbar und erreichen nicht die vorhergesagte Effizienz. Ich untersuche, welche Prozesse auf atomarer Ebene dafür verantwortlich sind.

Die Erkenntnisse möchte ich so aufarbeiten, dass man damit direkt das Design der Solarzellen entsprechend anpassen kann.“

# Wenn Krebszellen sich selbst vernichten

Tumoren im Gehirn ausschalten ohne Gefahr für gesunde Zellen? Eine neue RNA-Technologie könnte das möglich machen. Sie hat in Mäusestudien Glioblastom-Krebszellen dazu gebracht, sich selbst zu zerstören. Das gleiche Prinzip könnte auch helfen, Viren zu bekämpfen.

In der Krebsforschung ist es schon lange das Ziel, Medikamente zu entwickeln, die nur die Tumorzellen angreifen und keine Nebenwirkungen bei gesunden Zellen verursachen. Die Wirkstoffe müssen also zwischen gesund und krank unterscheiden können. Von außen lässt sich jedoch oft nicht erkennen, ob es sich um eine Krebszelle oder eine gesunde Zelle handelt. Erst das Zellinnere zeigt eindeutig, ob es sich um eine Tumorzelle handelt. Um das Zellinnere zu prüfen, haben Jülicher Wissenschaftler:innen ein komplexes Molekül entwickelt. Es kann nicht nur kranke Zellen erkennen, sondern sie auch dazu bringen, einen todbringenden Wirkstoff selbst zu produzieren und sich damit selbst zu zerstören.

Dazu setzen die Forscher:innen auf Messenger-RNA (mRNA), auf Deutsch: Boten-Ribonukleinsäure. Das Biomolekül ist seit der Impfstoffentwicklung

gegen Covid-19 kein Unbekannter mehr. In Zellen ist die mRNA dafür verantwortlich, die genetische Botschaft der DNA zu lesen und mit diesem Bauplan die Produktion verschiedener Proteine für den Zellstoffwechsel anzuwerfen.

Das Jülicher Team entwickelte dieses Prinzip zu einer sogenannten selektiv exprimierten RNA (seRNA) weiter. Die seRNA kann in alle Zellen eindringen, wird aber anders als die mRNA nur in bestimmten Zellen aktiv. „Welche das sind, können wir vorher festlegen. Die seRNA setzt sich aus unterschiedlichen Bausteinen zusammen. Je nach Wahl der Bausteine kann individuell festgelegt werden, in welcher Zielzelle des Körpers die Aktivierung der seRNA erfolgt und welches medizinisch wirksame Molekül produziert wird“, erklärt Privatdozent Bernd Hoffmann vom Institut für Biologische Informationsprozesse (IBI-2).

Die Vorgehensweise bleibt immer gleich: Ein Baustein agiert als Sensor. Er erkennt, ob er eine gesunde oder eine kranke Zelle wie etwa eine Glioblastom-Krebszelle vor sich hat. Dazu liest der Sensor-Baustein die mRNA der Zelle. Findet er einen Abschnitt, der für eine Krebszelle charakteristisch ist – einen sogenannten Tumormarker – aktiviert er den Selbstzerstörungsprozess. In mehreren Schritten vernichtet die Zelle sich selbst (siehe Grafik). In gesunden Zellen passiert dagegen nichts. „Ihnen fehlen die Tumormarker, daher wird der Mechanismus nicht aktiviert“, so Hoffmann. Hierdurch werden Nebenwirkungen vermieden. Und bleibt die seRNA im Körper inaktiv, wird sie nach wenigen Stunden mittels natürlicher Prozesse rückstandslos abgebaut.

## FLEXIBEL EINSETZBAR

„Die zelleigene RNA als Schalter zu nutzen, ist völlig neuartig“, sagt Hoffmann, der das entsprechende RNA-Molekül mit seinen Kolleg:innen entwickelt und anschließend gemeinsam mit Partnern aus

## Derzeit nicht heilbar

Das Glioblastom ist ein bösartiger Tumor, der überall im Gehirn auftreten kann. Derzeit gibt es keine Heilmethode. Was ein Glioblastom auslöst, ist bislang unklar. Der Tumor entwickelt sich meistens innerhalb kurzer Zeit. Seine Form ähnelt im späteren Stadium einem Schmetterling, weshalb der Tumor auch als „Schmetterlingsgliom“ bezeichnet wird. Betroffen sind in der Regel Menschen im mittleren Lebensalter. Ihre Überlebenszeit schwankt zwischen wenigen Monaten und einigen Jahren.



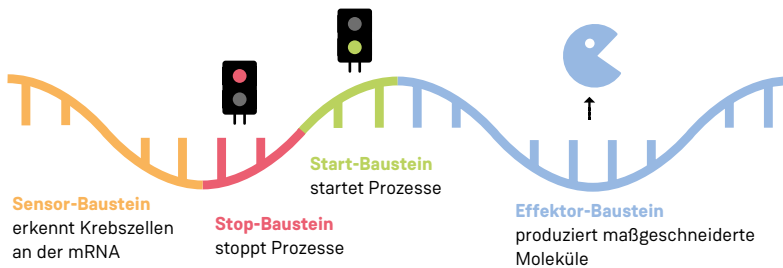


Die Funktionsweise der seRNA im Video von SRTD biotech (auf Englisch) [youtube.com/watch?v=so0X7i3XGRw](https://www.youtube.com/watch?v=so0X7i3XGRw)

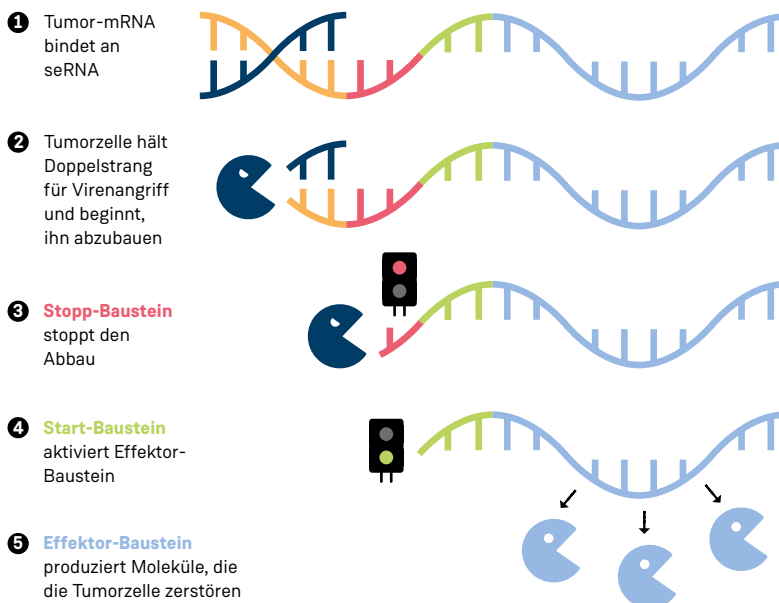
← Gemeinsam mit Kolleg:innen hat Bernd Hoffmann die neue Methode entwickelt und patentieren lassen.

## Wie funktioniert es?

seRNA besteht aus mehreren Bausteinen:



Ablauf in Zellen mit tumorspezifischer mRNA:



In Zellen ohne Tumor-mRNA finden die Schritte 1 bis 5 nicht statt. Die seRNA wird nicht aktiviert und vollständig abgebaut.

Köln, Würzburg und Straßburg in Bezug auf den zugrunde liegenden Funktionsmechanismus im Detail charakterisiert hatte. Hoffmann hat sich die Idee zur Technologie patentieren lassen und mit Kolleg:innen das Start-up SRTD biotech gegründet. Er sieht großes Potenzial in der Methode: „Das Baukastenprinzip macht die seRNA zu einer vielversprechenden Plattformtechnologie“, betont Hoffmann.

Das sieht auch Prof. Rudolf Merkel, Direktor des IBI-2, so: „Mit der Entwicklung der seRNA-Moleküle für medizinische Anwendungen können wir den zielgerichteten Angriff erkrankter Zellen sicherstellen und dies gleichzeitig mit der selektiven Produktion von Wirkstoffen kombinieren.“ Daher könne die neue Methode nicht nur bei verschiedenen Krebserkrankungen eingesetzt werden, sondern auch bei Viruserkrankungen wie Hepatitis B und Autoimmunerkrankungen.

Das IBI-2 wird die Technologie der schaltbaren seRNA-Moleküle im Auftrag von SRTD biotech weiterentwickeln und für den Einsatz gegen das Glioblastom und weitere Krankheiten optimieren. So soll die neue Plattformtechnologie nach den erfolgreichen Mäusestudien bei Glioblastomen nun auch gegen Leberkrebs die präklinische Phase und erste toxikologische Studien durchlaufen.

# Grüner Sprit für Schiffe und Lkw



Es ist „Innovator des Jahres“ 2024: Das Projekt DeCarTrans möchte die Herstellung von klimafreundlichem E-Fuel aus Methanol verbessern.

**E**lektrofahrzeugen gehört die Zukunft, da sind sich Expert:innen sicher. „Doch es wird immer Nischen geben, in denen weiterhin flüssige Kraftstoffe auf Kohlenstoffbasis gebraucht werden – etwa im Schwerlast- und Schiffsverkehr“, sagt Dr. Joachim Pasel. Er leitet die Abteilung „Chemie der Kraftstoffsynthese“ am Institut für Elektrochemische Verfahrenstechnik (IET-4). Gemeinsam mit fünf Partnern untersucht sein Team im Projekt DeCarTrans die Herstellung von synthetischem Benzin aus Methanol.

„Wir möchten zeigen, wie sich in nur einem Schritt aus Methanol ein erneuerbarer Kraftstoff im industriellen Maßstab herstellen lässt“, erläutert Pasel. Der bisherige Methanol-to-Gasoline-Prozess benötigt zwei chemische Schritte, was zeitaufwendig und teuer ist. Das Projekt macht Hoffnung, das sich dies ändern lässt. Das honoriert auch die deutschsprachige Wirtschaft: Sie hat DeCarTrans 2024 den Hauptpreis „Innovator des Jahres“ im Segment „Energie“ verliehen. Darüber hinaus wurde das Projekt mit dem Publikumspreis ausgezeichnet.

Kraftstoffe basieren heute in der Regel auf fossilen Rohstoffen wie Erdöl, bei deren Verbrennung CO<sub>2</sub> freigesetzt wird. Eine klimaschonende Alternative wären nachhaltig erzeugte synthetische Kraftstoffe, gemeinhin auch als E-Fuels bezeichnet. Sie könnten herkömmliche Verbrennungsmotoren antreiben und über bestehende Infrastrukturen bereitgestellt werden. „Wir wollen demonstrieren, dass man ausgehend von grünem Methanol einen nachhaltigen Kraftstoff herstellen kann, der ähnliche Eigenschaften wie konventionelles Benzin hat“, so der Jülicher Forscher. Methanol lässt sich nachhaltig gewinnen, indem man etwa grünen Wasserstoff mit CO<sub>2</sub> aus der Atmosphäre reagieren lässt.

Die Umsetzung des Methanols zu Treibstoff erfolgt im Pilotreaktor des Projektpartners CAC Engineering und in der Großversuchsanlage der TU Freiberg. Die Jülicher

Forscher:innen entwickeln unterdessen eine virtuelle Nachbildung des Pilotreaktors: „Damit können wir das Geschehen am Computer simulieren und verschiedene Parameter wie Temperatur, Druck und Durchflussmenge testen“, sagt Pasel. Das reduziert die Kosten für die technische Umsetzung erheblich. Gespeist wird das rechnergestützte Modell mit experimentellen Daten aus eigenen Versuchen an einem kleinen Jülicher Testreaktor.

Das Projekt läuft noch bis Ende 2026. Und auch wenn das Laden einer E-Auto-Batterie stets energieeffizienter sein wird als jeder Herstellungsprozess von synthetischem Benzin, ist Pasel optimistisch, dass „verbesserte E-Fuels künftig zur Senkung des CO<sub>2</sub>-Ausstoßes im Verkehrssektor vor allem bei bestehenden Flotten beitragen können.“

JANOSCH DEEG



← Doppelter Grund zur Freude: DeCarTrans erhielt den Haupt- und den Publikumspreis „Innovator des Jahres“ 2024.

**B**ekannt wurde es durch Strumpfhosen: das synthetische Polyamid Nylon. Aufgrund seiner Langlebigkeit und hohen Zugfestigkeit wird das Material heute in vielen Produkten eingesetzt: von Unterwäsche und Sportbekleidung über Fallschirme und Angelschnüre bis hin zu Komponenten in der Automobilindustrie.

Es gibt aber ein Problem: Es fehlen geeignete Recyclingverfahren, weder chemisches noch klassisches mechanisches Recycling liefert brauchbare Ergebnisse. Die Recyclingquote von Polyamiden liegt bislang unter fünf Prozent. Viele Nylonabfälle landen entweder auf Deponien oder werden verbrannt, was giftige Substanzen freisetzen kann. Im Meer verloren gegangene oder zurückgelassene Fischernetze aus Nylon sind außerdem eine Gefahr für Meeresbewohner und Vögel.

### HÖHERWERTIGE SUBSTANZEN

Jülicher Biotechnolog:innen haben zusammen mit der Firma Novonesis eine Lösung gefunden. Sie haben im EU-Projekt Glaukos ein Bakterium entwickelt, das die Einzelbausteine verschiedener Nylonvarianten „frisst“ und in wertvolle Stoffe umwandeln kann. „Wir haben das vielseitige, aber harmlose Bodenbakterium *Pseudomonas putida* genetisch so weiterentwickelt, dass es dieses Gemisch aus Nylonbausteinen verstoffwechselt und sogar in höherwertige Substanzen wie Biopolyester umwandeln kann“, betont Prof. Nick Wierckx vom Institut für Bio- und Geowissenschaften (IBG-1).



↑ Nick Wierckx entwickelt mithilfe der mikrobiellen Biotechnologie Lösungen für Umweltverschmutzung und Klimawandel.



# Bakterien fressen Nylon

Entscheidend für diesen Fortschritt war eine Kombination aus Gentechnik und Labor-Evolution, die es ermöglicht, Bakterien neue Fähigkeiten beizubringen. „Im Labor entwickelten einige Bakterien durch zufällige Mutationen die Fähigkeit, Nylonbausteine besser zu verwerten. Da sie dadurch schneller wachsen konnten als andere, setzten sie sich mit der Zeit durch – bis die Kultur schließlich fast nur noch aus diesen spezialisierten Zellen bestand“, berichtet Wierckx.

Die Forscher:innen konnten durch detaillierte Analysen der Genome die verantwortlichen Mutationen identifizieren und gezielt in *Pseudomonas putida*-Zellen einbauen. Im nächsten Schritt soll das Bakterium für den industriellen Einsatz fit gemacht werden und lernen, auch mit komplexeren Materialien wie beschichteten Textilien oder Fischernetzen umzugehen. Wir wünschen jetzt schon: guten Appetit!

ANNA TIPPING

# Die Wissenschaft des Unvorstellbaren

Die Quantenphysik hat unser Leben in den letzten Jahrzehnten entscheidend verändert. Prof. Tommaso Calarco vom Peter Grünberg Institut (PGI-8) spricht im Interview über die Entwicklungen der letzten 100 Jahre, die Quantentechnologie-Forschung in Jülich und zukünftige Entwicklungen.



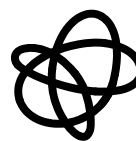
↑ Tommaso Calarco ist einer der Initiatoren des Europäischen Quantenmanifests, aus dem das milliardenschwere EU-Quanten-Flaggschiffprogramm hervorgegangen ist. Er leitet das Peter Grünberg Institut für Quantum Control (PGI-8) am Forschungszentrum Jülich.

**Prof. Calarco, viele Menschen fragen sich, was Quantenphysik oder Quantenmechanik eigentlich ist. Wie würden Sie es erklären?**

Die Quantenmechanik beschäftigt sich mit den kleinsten Teilchen – Atomen, Elektronen oder Photonen – und beschreibt ihr Verhalten mathematisch. Der Unterschied zur klassischen Physik besteht darin, dass ein Atom sich beispielsweise an zwei unterschiedlichen Orten gleichzeitig aufhalten kann. Wir Menschen können uns das nicht vorstellen, und zwar nicht, weil wir nicht klug genug sind, sondern weil es grundsätzlich unmöglich ist, sich intuitiv vorzustellen, was auf dieser mikroskopischen Ebene passiert. Dass die Gesetze der Quantenmechanik und die Unmöglichkeit, ein klassisches Bild davon zu erhalten, kein rein philosophisches Problem sind, sondern wichtig für technologische Entwicklungen, zeigt der Nobelpreis 2022. Die drei Preisträger haben die Regeln der Quantenphysik immer wieder in Experimenten bestätigt und damit den Grundstein für ein neues Zeitalter der Quantentechnologie gelegt.

**Wie hat denn die Quantenphysik in den letzten 100 Jahren den Alltag der Menschen beeinflusst?**

Die gesamte Informationstechnologie basiert auf Elektronik oder Photonik, nutzt also Elektronen und Photonen. Das wäre undenkbar, wenn wir nicht in der Lage wären, das Verhalten der kleinsten Teilchen zu verstehen und zu beeinflussen. Anwendungsbeispiele sind Transistoren, Computerprozessoren und Laser, die nicht nur in der Informationsübertragung, sondern auch in der Medizin und Diagnostik eingesetzt werden. So benötigen Kernspintomographen die quantenmechanische Beschreibung der Eigenschaften mikros-



INTERNATIONAL YEAR OF  
Quantum Science  
and Technology

## 100 Jahre Quantenphysik

Im Jahr 1925 formulierten Werner Heisenberg, Max Born und Pascual Jordan die Matrizenmechanik. Dies gilt als Beginn der modernen Quantenmechanik, die seitdem unser physikalisches Verständnis der Natur prägt. Anlässlich des 100-jährigen Jubiläums haben die Vereinten Nationen das Jahr 2025 zum Internationalen Jahr der Quantenwissenschaft und Quantentechnologie erklärt.

kopischer Teilchen, um die Strukturen im menschlichen Körper abbilden zu können. Die Quantenmechanik ist also überall in unserem Leben präsent.

### Zu welchen Themen forschen Jülicher Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler?

Die Jülicher Forschung in diesem Bereich hat eine lange Tradition. Schon zu Quantentechnologien der ersten Generation haben Kolleginnen und Kollegen erfolgreich gearbeitet, zum Beispiel der Nobelpreisträger Prof. Peter Grünberg. Seine Forschungen führten zu neuen Anwendungen in Computerfestplatten. Heute arbeitet das Forschungszentrum an Quantentechnologien der zweiten Generation. Es geht nicht mehr darum, viele Elektronen in Form von elektrischem Strom zu steuern, sondern einzelne Atome, einzelne Elektronen oder einzelne Photonen individuell zu manipulieren.

### Was macht die Forschung in Jülich so einzigartig?

Einzigartig ist, dass wir die gesamte Wertschöpfungskette abdecken. In der Helmholtz Nanofacility werden kleinste Quantenchips gefertigt, die mit gängiger Elektronik kombiniert und in Quantensysteme eingebaut werden. Die passende Soft- und Firmware für diese Systeme wird ebenfalls in Jülich programmiert. Wir konnten bereits erste Prototypen von Quantencomputern in die Höchstleistungsrechenumgebung des Jülicher Supercomputing Centre integrieren. Damit sind wir in der Lage, Prototypen für erste spezifische Anwendungen zu nutzen und sie Wissenschaft und Wirtschaft zur Verfügung zu stellen. Das ist ein Alleinstellungsmerkmal. Der Zugriff läuft über JUNIQ, die Jülicher Nutzer-Infrastruktur für Quantencomputing, eine einzigartige Einrichtung und Inspiration für weitere Infrastrukturen in Europa.

### Welchen Einfluss könnte die Quantenphysik auf die technologischen Entwicklungen in naher Zukunft haben?

Was wir erwarten können, ist eine Beschleunigung von Rechenvorgängen, auch für KI-Anwendungen. Das dauert aber noch mindestens 20 Jahre. Wir können außerdem erwarten, dass wir mit der Übertragung einzelner

Photonen eine abhörsichere Kommunikation erzeugen. In der Sensorik könnten die Messungen vieler Phänomene deutlich genauer werden, so dass beispielsweise die Aktivität einzelner Neuronen in Echtzeit messbar wäre. Das würde neue Möglichkeiten in der Diagnostik schaffen. Auch die Zeitmessung kann präziser werden und eine Satellitennavigation vom derzeitigen Meterbereich in den Zentimeter- oder Millimeterbereich ermöglichen – ein wichtiger Aspekt für das Autonome Fahren. Ich erwarte aber, dass die meisten Anwendungen noch nicht bekannt sind. Obwohl es viele Fortschritte gibt, sind immer noch große Herausforderungen zu meistern, um derartige Technologien in Zukunft einsetzen zu können.

DIE FRAGEN STELLTE IRINA HEESE.



### Zum Reinhören

Mehr über den aktuellen Stand und die Zukunft der Quantenphysik erzählt Tommaso Calarco im Podcast „Forschungsquartett“ der Plattform [detektor.fm](https://detektor.fm/wissen/forschungsquartett-quantenphysik)

### Mehr zu Quantentechnologien in Jülich

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

1  
0  
1  
1  
1

# Power-Duos

Jülicher Forscher:innen verknüpfen Quantenrechner mit Supercomputern. Solche Hybridsysteme sollen die Vorteile aus beiden Welten vereinen und bislang unlösbare wissenschaftliche Rätsel knacken.

**S**upercomputer und Quantencomputer ticken völlig unterschiedlich. Man könnte sagen, der eine ist Traditionalist, der andere Revolutionär. Supercomputer rechnen zuverlässig nach den uns vertrauten Regeln der Physik mit Einsen und Nullen. Quantencomputer kommen hingegen aus der bizarren Welt der Quanten: Sie nutzen alle Zahlen zwischen Eins und Null, schaffen unvorstellbar viel gleichzeitig, sind aber noch schwer in den Griff zu bekommen.

Die ungleichen Rechenkünstler sollen künftig in Jülich als Power-Duo zusammenarbeiten. Ein solches Hybridsystem bilden der bewährte Supercomputer JURECA DC und JADE, ein

100-Qubit-Quantensimulator der französischen Firma Pasqal, der seit Ende 2024 am Jülich Supercomputing Centre (JSC) steht. Weitere werden folgen, auch mit dem neuen Exascale-Supercomputer JUPITER, der derzeit in Jülich aufgebaut wird. Er wird mit dem D-Wave-Advantage2-System gekoppelt werden, einem kürzlich für die Jülicher Nutzer-Infrastruktur für Quantencomputing (JUNIQ, siehe Kasten S. 30) erworbenen Annealing-Quantencomputer. Dieses Duo schafft neue Möglichkeiten für Durchbrüche in der künstlichen Intelligenz und der Optimierung, etwa in der Logistik. Solche Hybridsysteme sollen außerdem Antworten auf einige der kniffligsten Fragen der modernen Wissenschaft finden – etwa Modellierungen von komplexen Klimaszenarien oder Strukturen von riesigen Molekülen.

← **Spitzenklasse in vielen Bereichen:** Der Supercomputer JUPITER wird der erste Exascale-Rechner in Europa. Ihn mit Quantencomputern zu koppeln, ist nur eine Anwendung. Seine Rechenpower macht ihn zu einem der weltweit leistungsstärksten Superrechner für KI. So können KI-Anwendungen künftig schneller entwickelt, getestet, verbessert und skaliert werden als je zuvor. Konsequenz, dass in Jülich

auch ein zentraler Pfeiler der europäischen KI-Infrastruktur entsteht: die KI-Factory. Über sie erhalten Mittelstand, Industrie und Forschungseinrichtungen Zugang zu JUPITER mit individueller Unterstützung für alle KI-Anwendungsfälle. Die JUPITER AI Factory (kurz: JAIF) wird mit rund 55 Millionen Euro von der europäischen Supercomputing-Initiative EuroHPC Joint Undertaking, dem Bundesministerium

für Forschung, Technologie und Raumfahrt sowie den Wissenschaftsministerien in Nordrhein-Westfalen und Hessen gefördert. Mehrere führende deutsche KI-Institutionen haben sich zu dem Gemeinschaftsprojekt zusammengeschlossen.

#### Mehr zu JUPITER

[go.fzj.de/effzett-jupiter-einer-fuer-alles](https://go.fzj.de/effzett-jupiter-einer-fuer-alles)

## DAS BESTE AUS ZWEI WELTEN

„Wir wollen die Vorteile beider Systeme vereinen“, erklärt Prof. Kristel Michielsens vom JSC. „Der Supercomputer erledigt den Großteil der Arbeit und sorgt für einen stabilen Workflow. Der Quantencomputer springt ein, wenn sein Partner nicht mehr weiterkommt oder zu lange für die Problemlösung brauchen würde.“ Ein Beispiel wären Klimasimulationen: „Die zentrale Modellierung führt der Supercomputer durch, während der Quantencomputer bestimmte Teilaufgaben wie sehr komplexe Optimierungsfragen übernimmt.“ Das könnte etwa die Betrachtung der Atmosphärenchemie sein: Hier sorgt die Vielzahl der chemischen Teilchen und Prozesse dafür, dass die Anzahl der zu testenden Möglichkeiten riesig ist.

Bei derartigen Modellierungen mit unzähligen Parametern wären selbst die leistungsstärksten Supercomputer wie der neue Exascale-Rechner JUPITER Jahre oder gar Jahrzehnte beschäftigt. Nicht so die Quantenrechner. Ihre Recheneinheiten, die Qubits, können anders als herkömmliche Bits nicht nur die Werte 0 und 1 annehmen, sondern auch beliebig viele dazwischen. Aus diesem Grund hat ein Quantenprozessor das Potenzial, zahlreiche Operationen parallel auszuführen, weshalb er erheblich schneller und effizienter rechnen könnte als ein klassischer Computer. „Das spart Zeit und Energie“, sagt Michielsens.

## Umfangreiche Expertise

Bei der Entwicklung solcher Hybridcomputer am Jülicher Standort zahlt sich die breite Expertise des Forschungszentrums beim Super- und Quantencomputing aus. Schon im Jahr 1987 war das Jülich Supercomputing Centre (JSC) das erste Höchstleistungsrechenzentrum in Deutschland. Derzeit wird dort mit JUPITER der erste europäische Exascale-Rechner aufgebaut. „Exa“ steht für eine 1 mit 18 Nullen und somit für eine Trillion Rechenoperationen pro Sekunde, das entspricht etwa der Rechenleistung von einer Million moderner Smartphones. Zur Jülicher Supercomputergemeinschaft gehören außerdem vier weitere Supercomputer.

Auch die Jülicher Quantenforschung ist einzigartig in Deutschland. Die Wissenschaftler:innen decken das gesamte Spektrum der Quantenforschung ab: von der Quantentheorie über den Bau von Hardware und die Programmierung von Software bis hin zum Test und zur Weiterentwicklung fertiger Bauteile. Die Forscher:innen arbeiten je nach Problemstellung mit ganz verschiedenen Systemen, die ihre eigene Charakteristik haben – darunter etwa ein Quantenannealer des kanadischen Unternehmens D-Wave. Das ermöglicht es, in Jülich verschiedene Techniken und Power-Duos auszuprobieren.



↑ Kristel Michielsens leitet die Jülicher Nutzer-Infrastruktur für Quantencomputing JUNIQ. Die Plattform bietet Zugang zu modernsten Quantencomputern, sowie die Möglichkeit Supercomputer mit bereits laufenden Quantensystemen zu verbinden.

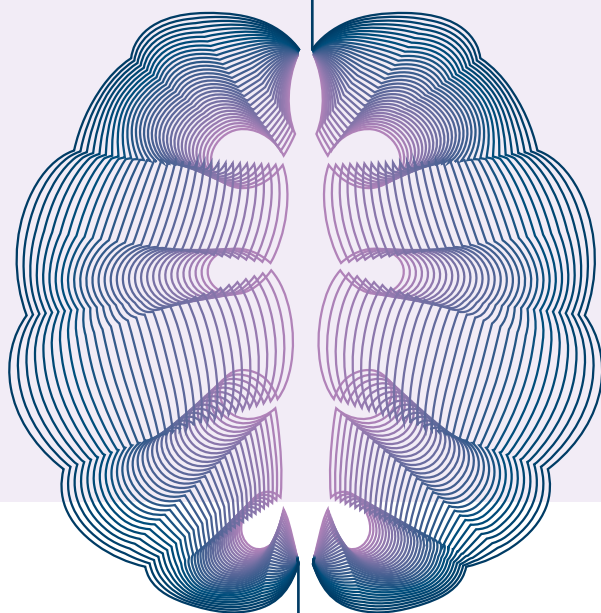
Das JSC hat bereits ein kleines Fünf-Qubit-System des deutsch-finnischen Herstellers IQM mit seinem Supercomputer JURECA DC verknüpft und erste Testexperimente durchgeführt. Bald schon soll ein supraleitendes Qubit-System hinzukommen, das Jülicher Forscher:innen gemeinsam mit der Goethe-Universität Frankfurt und den beiden Firmen ParTec und Quantum Machines entwickeln, sowie ein Ionenfallen-System des deutschen Start-ups eleQtron. Alle drei Systeme werden in die Supercomputing-Infrastruktur

des JSC integriert und sind Teil der Nutzer-Infrastruktur JUNIQ, in der das Forschungszentrum verschiedenste Quantensysteme bündelt, weiterentwickelt und testet. „JUNIQ bietet den Nutzer:innen die einzigartige Möglichkeit, sich das jeweils passende Quantensystem herauszusuchen und verschiedene Konzepte auf einer Plattform miteinander zu vergleichen“, betont Michielsens.

Damit die Quantenrechner ihre Stärken in den passenden Momenten auch ausspielen können, müssen die Forschenden zunächst die Kommunikation und die Methodik der beiden unterschiedlichen Computertypen aufeinander abstimmen. Dazu braucht es eine Software, die sowohl die traditionelle als auch die quantenmechanische Herangehensweise berücksichtigt. Gelingt das alles, könnten die Hybride neben wichtigen Fragen aus der Klimaforschung auch etliche aus Chemie, Medizin, Material- und Finanzwissenschaften oder KI-Forschung, Logistik und Quantenphysik beantworten. Gerade bei den größten wissenschaftlichen Herausforderungen könnte es sich also als großer Vorteil erweisen, wenn zwei kooperieren, die völlig unterschiedlich ticken.

JANOSCH DEEG

## 011101



### JUNIQ

JUNIQ – die „Jülicher Nutzer-Infrastruktur für Quantencomputing“ – ist Teil des großen Future IT-Ökosystems des Forschungszentrums. Die einzigartige Plattform bietet Wissenschaft und Wirtschaft einen Zugang zu einer Vielzahl von Quantensystemen in unterschiedlichen Entwicklungsstufen: von hochmodernen kommerziellen Systemen wie dem D-Wave-Quantenannealer über Quantensimulatoren wie JADE bis hin zu kontinuierlich optimierten, experimentellen Quantencomputern von Projekten wie QSolid und OpenSuperQPlus.

Durch hybride Ansätze, also die Verbindung von Quantencomputern mit Supercomputern, und die Integration von künstlicher Intelligenz können komplexe Fragestellungen auf völlig neue Weise adressiert werden. Nutzer:innen profitieren außerdem von umfassender Unterstützung bei der Entwicklung von Algorithmen und Anwendungen fürs Quantencomputing.

**Mehr zu JUNIQ**

[go.fzj.de/effzett-junIQ](https://go.fzj.de/effzett-junIQ)

# Transparentes Sprachtalent

Seit Ende 2024 steht das deutsche KI-Sprachmodell Teuken-7B Interessent:innen aus Wissenschaft und Wirtschaft zur Verfügung. Prof. Stefan Kesselheim und Dr. Andreas Herten vom Jülich Supercomputing Centre haben Teuken-7B mitentwickelt und erläutern, was das mehrsprachige Open-Source-Modell von kommerziellen Angeboten wie ChatGPT unterscheidet.



## Was zeichnet das Large Language Modell Teuken-7B aus?

**Kesselheim:** Es ist „made in Germany“, frei zugänglich und jeder kann es herunterladen. Es wurde nicht nur auf Englisch, sondern auf allen 24 Amtssprachen der EU trainiert.

**Herten:** Teuken-7B ist das Ergebnis des Projekts OpenGPT-X, das vor drei Jahren startete, um den kommerziellen Sprachmodellen vor allem aus Nordamerika etwas Transparentes und Quelloffenes entgegenzusetzen. Es gab keinen Risikokapitalgeber und keine wirtschaftlichen Interessen. Das Projekt wurde durch das Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz gefördert. Das Modell trainierten wir auf Supercomputern in Jülich und in Dresden, also mithilfe öffentlicher Infrastruktur.

## Warum ist es wichtig, dieses Feld nicht ausschließlich finanzkräftigen Unternehmen zu überlassen?

**Kesselheim:** Unternehmen halten oft den Quellcode der Künstlichen Intelligenz (KI) und die Trainingsdaten unter Verschluss. Ihr Vorgehen und ihre Absichten sind nicht immer transparent. Bei einer so umwälzenden Technologie, die die Art verändert, wie die Menschheit Informationen weitergibt und bearbeitet, ist die Abhängigkeit von wirtschaftlichen Interessen gefährlich.

**Herten:** Unternehmen wollen mit Sprachmodellen beispielsweise Chatbots und Software-Agenten betreiben, um Geld zu verdienen. Uns Wissenschaftler:innen geht es um den gesellschaftlichen Nutzen. Daher sind wir offener für

← Als Leiter des Simulation and Data Lab „Applied Machine Learning“ entwickelt Stefan Kesselheim neue KI-Methoden für Sprachmodelle und für die Forschung.

andere Forschungsfragen und Ideen, die sich aus der Technologieentwicklung heraus ergeben.

### **Wie haben Sie zur Entwicklung von Teuken-7B beigetragen?**

**Herten:** Wir teilten die Jülicher Aufgaben auf zwei Teams auf. Mein Team sorgte dafür, dass die Hardware beim Training des Sprachmodells effizient genutzt wurde. Wir wählten entsprechende Methoden und Parameter aus, analysierten und passten sie an. Die gewonnenen Erkenntnisse gaben uns wichtige Hinweise, worauf wir bei der Anschaffung des neuen Jülicher Exascale-Computers JUPITER zu achten hatten.

**Kesselheim:** Beim Training eines Large-Language-Modells gibt es viele Stellschrauben. Um das Training zu steuern, muss man diese im Voraus einstellen. Mein Team half, die besten Einstellungen zu finden. So können wir mit möglichst wenig Trainingsschritten zum Ziel kommen.

### **Ein wichtiger Aspekt bei der Entwicklung von KI-Modellen ist deren Ressourcenverbrauch. Wie steht es um die Energieeffizienz von Teuken-7B?**

**Kesselheim:** Wir haben einen guten Ansatz gefunden, die Energieeffizienz von vielsprachigen Sprachmodellen zu verbessern. So zerlegt Teuken-7B die Wörter der verschiedenen Sprachen auf eine besonders schlaue Weise in kleinere Einheiten, die Tokens. Ein Token ist mehr als ein Buchstabe, eher eine Silbe. Für Deutsch würde man etwas andere Tokens wählen als zum Beispiel für Finnisch. Unser Tokenizer teilt den europäischen Sprachmix so auf, dass das Sprachmodell weniger rechnen muss, um zum Ergebnis zu kommen.

### **Es gibt inzwischen viele ähnliche europäische Projekte wie OpenGPT-X, einige mit Jülicher Beteiligung. Ist das sinnvoll?**

**Kesselheim:** KI und Sprachmodelle sind disruptive Technologien, vielleicht vergleichbar mit dem Internet. Aufgrund dieser enormen Bedeutung wollen sehr viele an der Entwicklung teilhaben. Zahlreiche nationale und internationale Initiativen sind entstanden. Das ist gut, denn es ist viel Kompetenz nötig, um in Europa ein weltweit konkurrenzfähiges Ökosystem aus Forschungseinrichtungen, Start-ups und Unternehmen zu schaffen. Die Herausforderung liegt in der sinnvollen Koordination dieser Initiativen.



↑ Andreas Herten und sein Team vom Accelerating Devices Lab forschen unter anderem an neuartigen Technologien und Architekturen für das High-Performance-Computing.

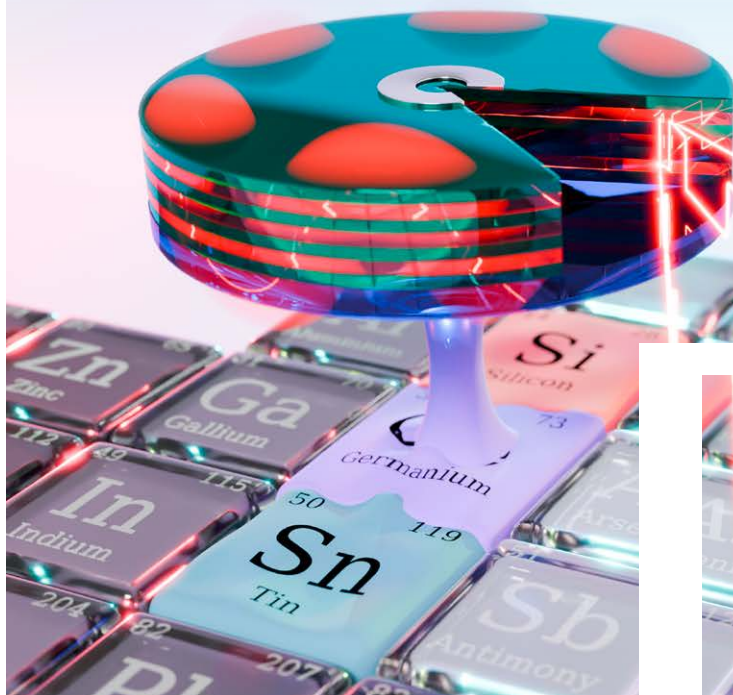
### **Das heißt aber auch, dass Teuken-7B keineswegs das Ende der Sprachmodell-Entwicklung ist ...**

**Kesselheim:** Genau. Seit unserem Training sind wieder viele neue Erkenntnisse zu Trainingsmethoden und den besten Daten entstanden. Außerdem ist das Modell klein: Die Angabe 7B steht für 7 Milliarden (engl. billions) Modellparameter. Das größte Modell von DeepSeek hat 650B und ist leistungsfähiger, verbraucht aber auch mehr Rechnerressourcen. Mit Teuken-7B haben wir jedoch gezeigt, dass Deutschland bei der Entwicklung von Sprachmodellen mitwirken kann. Wir haben im Projekt enorm viel gelernt. Das ist wichtig, denn Sprachmodelle sind Wegbereiter für die Entwicklung von Strategien und Methoden der KI in diversen Forschungsbereichen.

### **Können Sie ein Beispiel nennen?**

**Kesselheim:** Die Jülicher Atmosphärenforscher:innen setzen etwa bei ihrer Arbeit KI-Methoden ein, die ihren Ursprung in Sprachmodellen haben. Die Forscher:innen haben diese Methoden auf die Verarbeitung von Wetter- und Klimadaten angepasst. Ähnliches gilt auch für KI-Modelle in der Energie- oder der Hirnforschung. Sprachmodelle bieten wertvolle Erkenntnisse für die Entwicklung solcher KI-Modelle – am meisten, wenn man sie selbst entwickelt. Es genügt nicht, die Sprachmodelle kommerzieller Anbieter anwenden zu können.

# Das letzte Puzzlestück



Ein internationales Forschungsteam hat den ersten elektrisch gepumpten kontinuierlichen Halbleiterlaser entwickelt, der vollständig aus Elementen der vierten Hauptgruppe besteht. Der neue Laser lässt sich direkt in Siliziumchips integrieren.



„Mit dem neuen Halbleiterlaser haben wir einen Meilenstein in der Silizium-Photonik erreicht. Er ist der zentrale Baustein, der bislang fehlte“, sagt Dr. Dan Buca vom Peter Grünberg Institut (PGI-9). Der Laser ist eine Gemeinschaftsleistung seiner Arbeitsgruppe mit Partnern aus Deutschland, England und Frankreich.

Die Silizium-Photonik kombiniert zwei bewährte Technologien: den Mikrochip und die optische Signalübertragung. Die Idee dahinter: Daten sollen künftig nicht mehr mit Strom, sondern mit Licht übermittelt werden – und zwar mit photonischen Chips, auf denen elektronische und optische Komponenten integriert sind. „Die optische Datenübertragung ermöglicht den Transport großer Datenmengen – schnell, mit geringen Energieverlusten und wenig stör anfällig. Der Bedarf für entsprechende leistungsstarke und energieeffiziente Hardware steigt mit den rasanten Fortschritten bei der Künstlichen Intelligenz und dem Internet der Dinge, also der zunehmenden Vernetzung intelligenter Geräte“, so Buca.

Bisher fehlte ein entscheidendes Puzzlestück für photonische Chips: eine effiziente Lichtquelle. Ideal wäre ein Laser aus Silizium, denn auf dem Element der vierten Hauptgruppe beruht die gesamte Chipfertigung. Doch so einen Laser zu erzeugen, ist schwierig. Stattdessen werden bei

Lasern üblicherweise III-V-Halbleiter verwendet, die sich nicht gut mit Silizium kombinieren lassen.

## STABILER DAUERBETRIEB

Der neue Laser basiert nur auf Elementen der vierten Hauptgruppe, nämlich Silizium, Germanium und Zinn. Diese sind in ultradünne Schichten aus Silizium-Germanium-Zinn und Germanium-Zinn angeordnet, einer sogenannten Multi-Quantum-Well-Struktur. Das und eine spezielle Ring-Geometrie minimieren den Energieverbrauch sowie die Wärmeentwicklung und ermöglichen einen stabilen Dauerbetrieb bei 90 Kelvin, etwa -183 Grad Celsius. Im Gegensatz zu früheren Germanium-Zinn-Lasern, die optisch gepumpt wurden und hohe Energien benötigten, arbeitet der neue Laser auch elektrisch. Dazu benötigt er eine Stromstärke von nur 5 Milliampere und eine Spannung von 2 Volt – vergleichbar mit einer Leuchtdiode.

„Mit dem neuen Laser rückt die Vision einer All-in-one-Lösung auf einem Chip in greifbare Nähe. Es besteht aber weiterhin Optimierungsbedarf“, betont Buca. Insbesondere gelte es, die minimal notwendige Pumpleistung des Lasers weiter zu senken und einen stabilen Betrieb bei Raumtemperatur zu ermöglichen.

TOBIAS SCHLÖSSER

↑ Der neue Laser besteht aus ultradünnen Schichten aus Silizium-Germanium-Zinn und Germanium-Zinn.



↑ Die Forschungsgruppe von Dan Buca leistet seit Jahren Pionierarbeit auf dem Gebiet zinnbasierter Gruppe-IV-Legierungen.



## BESSERWISSEN

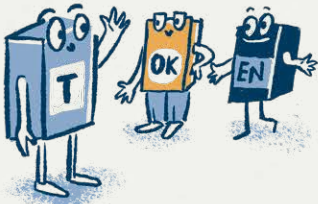
# LLM

Ein LLM (Large Language Model) erzeugt mithilfe von maschinellem Lernen Texte. Dazu lernt es aus Trainingstexten, wie Wörter miteinander in Verbindung stehen.

## WIE FUNKTIONIERT'S?

### TOKENISIEREN

Zerlegen der Trainingstexte in kleine Teile, sogenannte Tokens. Das können Buchstaben, Silben oder Teilwörter sein.



### EINBETTEN

Übersetzen der Tokens in Zahlen. Das ermöglicht es dem LLM, Muster und Beziehungen zwischen Tokens zu erkennen.



### VORHERSAGEN

Berechnen der Wahrscheinlichkeit des nächsten Tokens – also wie wahrscheinlich ein Token auf ein anderes folgt.



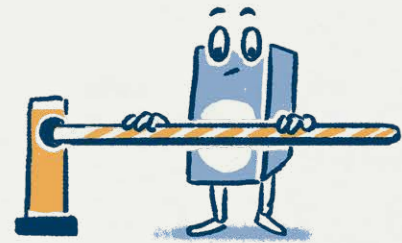
### DEKODIEREN

Entscheiden aufgrund der Wahrscheinlichkeit, welches Token ausgegeben wird. Das bestimmt, welches Wort als nächstes kommt.



## GRENZEN

LLMs verstehen den Inhalt von Texten nicht. Einseitige oder vorentscheidende Trainingsdaten führen zu einseitigen Ergebnissen. Und: LLMs brauchen viel Energie.



## PROMPT

So heißt die Eingabe, die dem LLM gegeben wird. Sie beeinflusst entscheidend, was ein LLM ausgibt und damit, wie nützlich ein Ergebnis ist.



## JÜLICHER FORSCHER:INNEN

entwickeln, optimieren und prüfen LLMs. (s. Interview S.31-32). Sie verwenden außerdem in der Klima-, Energie- und Hirnforschung KI-Methoden, die ihren Ursprung in Sprachmodellen haben.



# GEFÄLLT UNS

WISSENSCHAFT IM COMIC

## Mit Physik Gedrängel verstehen

Was hat das Gedrängel am Bahnhof mit der Fließbewegung von Wasser gemeinsam? Spielen kulturelle Faktoren eine Rolle, wie sich Menschenmengen verhalten? Diese Fragen beantwortet ein farbenfroher Comic von Wissenschaftsjournalist Matthew R. Francis und Cartoonist Maki Naro, der im Knowable Magazine erschienen ist. Er zeigt, wie drei Forscher aus Jülich, den Niederlanden und China Grundgesetze der Physik und Daten aus Experimenten kombinieren, um zu verstehen, wie sich Menschen in großen Mengen bewegen. Das hilft, die Veranstaltungsorte besser vorzubereiten, Staus und Aggressionen in engen Situationen zu verringern und Großveranstaltungen sicherer zu gestalten.

- GO.FZJ.DE/KNOWABLEMAGAZINE -

HILFSANGEBOT FÜR FORSCHER:INNEN

## Unterstützung bei Anfeindungen

Hassmails, Beleidigungen, Drohungen – zunehmend sehen sich Forscher:innen Anfeindungen ausgesetzt, besonders wenn sie sich öffentlich zu Themen wie Corona oder dem Klimawandel äußern. Hilfe erhalten Betroffene über die Plattform Scicomm-Support. Sie unterstützt, berät und bietet Trainings zum Umgang mit (digitaler) Gewalt an. Die gemeinsame Initiative des Bundesverbands Hochschulkommunikation und Wissenschaft im Dialog ist telefonisch täglich von 7 bis 22 Uhr unter 0157 923 448 04 erreichbar oder über ihre Webseite.

- SCICOMM-SUPPORT.DE -



**TAG DER  
NEUGIER**  
07.09.2025  
[www.tagderneugier.de](http://www.tagderneugier.de)



TAG DER NEUGIER IN JÜLICH

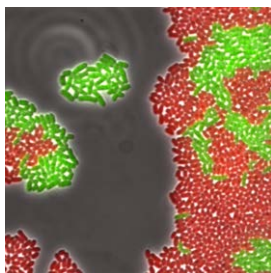
## Wissenschaft hautnah erleben

Am Sonntag, den 7. September 2025, öffnet das Forschungszentrum seine Türen für alle Neugierigen! Besuchen Sie zwischen 10.00 bis 17.00 Uhr die Labors und Werkstätten, werden Sie bei Experimenten selbst zu Wissenschaftler:innen und stellen Sie so viele Fragen, wie Sie möchten: etwa zu Wasserstoff, Superrechnern, dem mysteriösen Verhalten von Quanten oder der Arbeitsweise des menschlichen Gehirns. Wir bieten aber auch plastikfressende Bakterien, Solaranlagen auf Äckern und noch vieles mehr. Suchen Sie einen Ausbildungsplatz? Wir zeigen Ihnen, welche Berufe Sie bei uns lernen können. Freuen Sie sich auf ein buntes Programm für Groß und Klein. Am besten den „Tag der Neugier“ schon jetzt im Kalender vormerken!

- WWW.TAGDERNEUGIER.DE -

# FORSCHUNG IN EINEM TRÖT

Einst gezielt gesucht, heute Liebling der Lebensmittelindustrie. Das Bakterium *Corynebacterium glutamicum* wurde zur Mikrobe des Jahres 2025 gekürt.



In den 1950er Jahren suchten zwei japanische Forscher nach Bakterien, die den herzhaften Geschmack „umami“ produzieren. Bei *Corynebacterium glutamicum* wurden sie fündig: Es produziert den Auslöser des Geschmacks, das Würzmittel Natriumglutamat. Heute liefert das Bakterium pro Jahr rund 3,5 Millionen Tonnen Natriumglutamat, außerdem Aminosäuren sowie Proteine für die Lebensmittel- und Futterproduktion, aber auch für die Pharmaindustrie. Jülicher Biotechnolog:innen suchen unter anderem nach Wegen, um die Produktionsprozesse zu verbessern. [go.fzj.de/mikrobe2025](https://go.fzj.de/mikrobe2025)