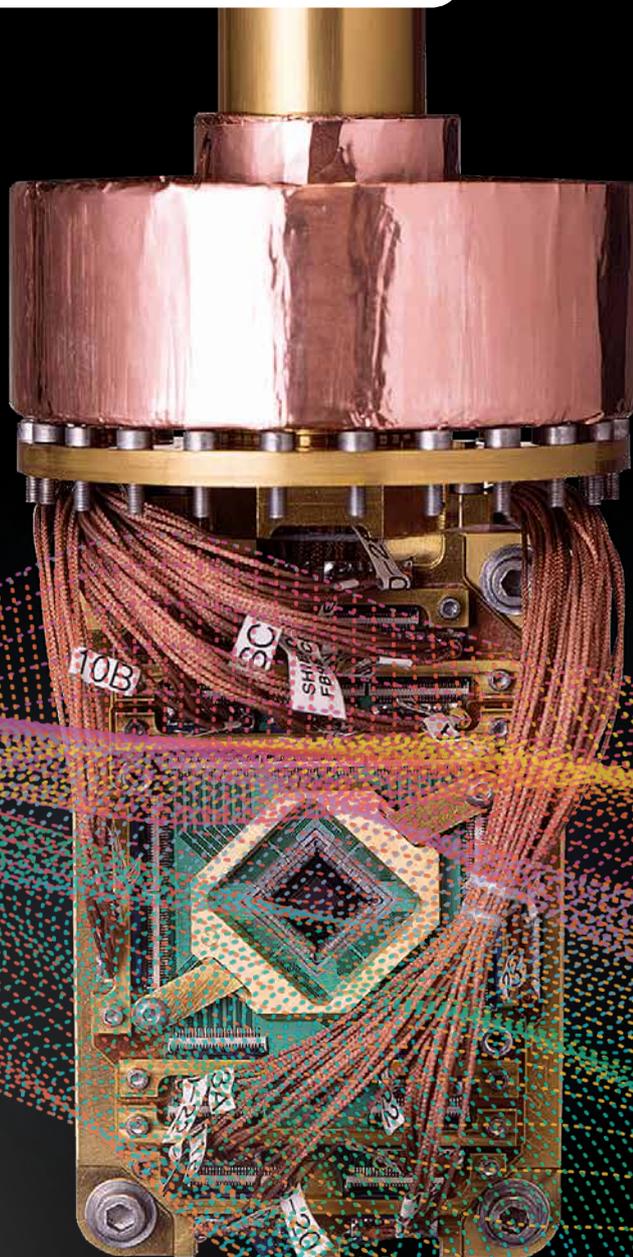


## SCHÖNE NEUE QUANTENWELT?

Warum die kleinen Teilchen die  
Wissenschaft revolutionieren könnten



## DER CORONA- EFFEKT

Wie verändert uns  
die Pandemie?

### UMGEBEN VON GIFT

Welche Mikroben gerne  
Schadstoffe fressen

### AUF DEM ACKER

Sind hohe Erträge und  
Nachhaltigkeit unvereinbar?





## Wenn die Wüste bleibt

Sandige Hügel, so weit das Auge reicht. Das war nicht immer so, hier im Tal des Flusses Kali Gandaki in Nepal. Bis vor rund 2.000 Jahren stand hier Wald auf fruchtbarem Boden – bis die Menschen ihn abholzten, um Weideflächen zu gewinnen. Als es vor 1.600 Jahren zu einer länger anhaltenden Trockenheit kam, kippte das Ökosystem: Pflanzen verdorrten und bei seltenen Starkregen riss das Wasser tiefe Gräben in die Landschaft und die Böden wurden weggeschwemmt. Der Verlust der Böden und der Vegetation sei irreversibel, urteilt ein Forschungsteam um Johanna Menges vom Helmholtz-Zentrum Potsdam – Deutsches Geo-Forschungszentrum (GFZ). Im Gebiet untersuchten die Forscher Sedimente sowie molekulare Fossilien von Pflanzen und ermittelten so den „Kipppunkt“, ab dem die Schäden in dieser Region irreversibel sind: ein Schwellenwert von 200 Millilitern Niederschlag pro Jahr. Selbst wenn es wieder mehr regnet, gibt es kein Zurück mehr zu einem intakten Ökosystem. Davon zeugt auch dieses Bild: Im Vordergrund sind die Rinnen zu sehen, die durch die Erosion entstanden sind und bleiben. Im Hintergrund geht gerade einer der seltenen Sommerregenfälle nieder, der den Boden auch hier wegspülen wird. ♦

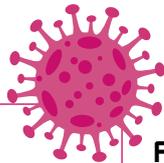
Franziska Roeder



**ONLINE**

Mehr eindrucksvolle Bilder aus der  
Wissenschaft finden Sie hier:

→ [www.helmholtz.de/  
wissenschaftsbild](http://www.helmholtz.de/wissenschaftsbild)



## TITELTHEMA

- 08 Der Corona-Effekt**  
Wie wirkt sich die Pandemie auf das Verhältnis zur Wissenschaft aus?
- 14 Übersicht zu SARS-CoV-2**  
Woran derzeit geforscht wird

## WISSENSCHAFTSBILD

- 02 Wüstenbildung**

## INFOGRAFIK

- 06 Signale aus dem All**  
Wie Forscher Neutrinos, Gravitationswellen & Co. detektieren

## STANDPUNKTE

- 30 EU: Wie marktnah sollen Forscher arbeiten?**  
Zwei Blickwinkel: Peter Dröll und Björn Nagel

## PORTRÄT

- 40 Im Bergwerk der Daten**  
Xiaoxiang Zhu

## FORSCHUNG

- 07 Helmholtz extrem**  
Der größte Organismus
- 16 Helmholtz kompakt**  
Neues aus der Helmholtz-Welt
- 19 Nachgefragt**  
Polt sich das Erdmagnetfeld um?
- 20 Eine Frage der Erde**  
Unvereinbar? Nachhaltige Landwirtschaft und hohe Erträge

- 24 Aufbruch zu einer neuen Welt**  
Wie Quantentechnologien die Wissenschaft von Medizin bis Materialforschung revolutionieren

- 32 Kleine Schadstoffresser**  
Giftresistenten Winzlingen auf der Spur
- 36 Helmholtz weltweit**  
Wie der Klimawandel Permafrostküsten verändert

## EXPERIMENT

- 43 Kleine Forscher**  
Elektrisch leitfähige Knete



## IMPRESSUM

**Helmholtz Perspektiven**  
Das Forschungsmagazin der Helmholtz-Gemeinschaft  
perspektiven@helmholtz.de  
www.helmholtz.de/perspektiven

**Herausgeber**  
Helmholtz-Gemeinschaft  
Deutscher Forschungszentren e. V.

Büro Berlin, Kommunikation und Außenbeziehungen  
V.i.S.d.P.: Sara Arnsteiner  
Anna-Louisa-Karsch-Str. 2 · 10178 Berlin  
Tel. +49 30 206329-57 · Fax +49 30 206329-60

**Chefredaktion** Annette Doerfel  
**Schlussredaktion** Andrea Mayer  
**Artdirektion** Stephanie Lochmüller  
**Layout** Stephanie Lochmüller, Kathrin Schüller

### Redaktion

Kristine August, Annette Doerfel, Kai Dürfeld, Kilian Kirchgeßner, Christin Liedtke, Christian Meier, Ralf Nestler, Franziska Roeder, Martin Trinkaus, Julika Witte

### Bildnachweise

Titel/Umschlag: D-Wave Systems, Shutterstock/Sunward Art, Shutterstock/DOERS; S. 4-5: picture alliance/Marcella Winograd/Cover Image, Shutterstock/Sunward Art, D-Wave Systems, Pixabay/Herney Gómez, Stephanie Lochmüller & Freepik (Bildmontage), Julia Eberle/ediundsepp Gestaltungsgesellschaft, München, AWI/Dyke Scheidemann, David Ausserhofer; S. 6: Tanja Hildebrandt; S. 8-9: picture alliance/Marcella Winograd/Cover Images; S. 10: Shutterstock/Lorna Roberts; S. 11: KIT/Markus Breig, Shutterstock/Maria Symchych; S. 14-15: Stephanie Lochmüller & Freepik (Icons); S. 18: KIT/Noah Strobel, Heinz Troll, Forschungszentrum Jülich; S. 20: Pixabay/Catkin; S. 22-23: Pixabay/

Mathias Beckmann; S. 24-25: D-Wave Systems; S. 24-29: Shutterstock/Sunward Art; S. 26-28: Shutterstock/local\_doctor; S. 30-31: Sylvia Wolf; S. 32-33: Stephanie Lochmüller & Freepik (Bildmontage); S. 34: Shutterstock/Bannafarsai\_Stock, Shutterstock/Bjoern Wylezich; S. 36-37: AWI/Dyke Scheidemann; S. 41: Julia Eberle/ediundsepp Gestaltungsgesellschaft, München; S. 43: Tanja Hildebrandt

**Druck/Vertrieb**  
Druck- und Verlagshaus Zarbock GmbH & Co. KG, Frankfurt a. M.

Papier Arctic Volume white

ISSN  
2197-1579

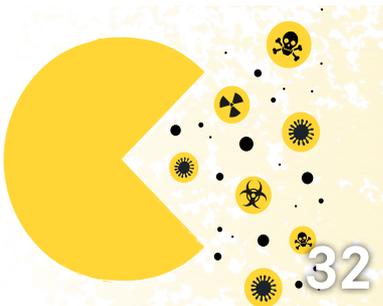




20



40



32



36



Liebe Leserinnen, liebe Leser,

wohl keine Perspektiven-Ausgabe hat so lange in der Entstehung gebraucht wie diese. Die Corona-Krise hat unser Magazin kräftig durcheinandergewirbelt. Nun erscheinen wir nicht nur einige Wochen später, nein, auf das ursprünglich geplante Titelthema Quantentechnologien „Aufbruch zu einer neuen Welt“ haben wir gleich noch ein zweites draufgepackt: Im Artikel „Der Corona-Effekt“ befassen wir uns damit, wie die Pandemie unser aller Leben beeinflusst – und wie sich das Verhältnis von Gesellschaft und Politik zur Wissenschaft langfristig verändern könnte.

COVID-19 hat auch ein anderes großes Thema etwas aus den Medien verdrängt: den Klimawandel. Sicherlich nur kurzfristig, denn dieses Thema wird bleiben. Welchen Effekt der Klimawandel auf Permafrostküsten auf der ganzen Welt hat, zeigt uns der Geowissenschaftler Hugues Lantuit in Helmholtz weltweit.

Übrigens: Folgen Sie einfach den Icons im Heft und tauchen Sie online noch tiefer ein in die bunte Welt der Forschung. Viel Spaß beim Lesen, Anschauen und Hören!

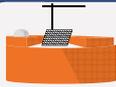
Annette Doerfel  
Chefredakteurin

→ **Kostenloses Abo**

Möchten Sie die Druckausgabe der Helmholtz Perspektiven kostenlos beziehen? Dann schreiben Sie eine E-Mail an: [perspektiven@helmholtz.de](mailto:perspektiven@helmholtz.de)

# Signale aus dem All

Mit der Multi-Messenger-Astronomie sind Forscher in der Lage, verschiedene Signale aus dem Weltall zu messen und zu interpretieren. Dabei können vier unterschiedliche, extrasolare „Botschafter“ detektiert werden: elektromagnetische Strahlung, Neutrinos, Gravitationswellen und hochenergetische Teilchenstrahlung wie Protonen, Elektronen und ionisierte Atome. Sie werden durch bestimmte astrophysikalische Prozesse erzeugt und geben unterschiedliche Informationen über ihre Quellen preis. Die Grafik zeigt eine Auswahl internationaler Multi-Messenger-Projekte mit maßgeblicher Helmholtz-Beteiligung sowie das derzeit diskutierte europäische Großprojekt „Einstein-Teleskop“.



## 1. PIERRE-AUGER-OBSERVATORIUM

**Messgerät:** Hybrid-Detektor bestehend aus Fluoreszenzteleskopen und Wasser-Tscherenkow-Detektoren  
**Größe:** 3.000 km<sup>2</sup>  
**Bau/Inbetriebnahme:** 2004–2008  
**Was wird gemessen:** hochenergetische kosmische Strahlung, um ihre Quellen aufzuspüren  
**Ort:** Pampa Amarilla (Argentinien)  
**Projekt:** 500 Wissenschaftler aus 17 Ländern  
**Beteiligtes Helmholtz-Zentrum:** KIT



## 2. CHERENKOV TELESCOPE ARRAY (CTA)

**Messgerät:** Imaging Air Cherenkov Telescope (IACT)  
**Größe:** mehr als 100 Teleskope mit bis zu 23 m Durchmesser  
**Bau:** 2021–2025  
**Was wird gemessen:** hochenergetische kosmische Gammastrahlen im Bereich von 20 GeV<sup>1</sup> bis 300 TeV<sup>2</sup> zur Erforschung z. B. von Galaxien, schwarzen Löchern und dunkler Materie  
**Ort:** Paranal (Chile) und La Palma (Spanien)  
**Projekt:** > 1.500 Wissenschaftler aus 31 Ländern  
**Beteiligtes Helmholtz-Zentrum:** DESY

## IMAGING AIR CHERENKOV TELESCOPES (IACT)

Vorläufer des Cherenkov Telescope Array (CTA), mit Beteiligung des DESY

## 3. MAGIC

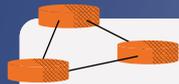
**Größe:** zwei Spiegelträger mit je 17 m Durchmesser  
**Inbetriebnahme:** 2004  
**Was wird gemessen:** hochenergetische kosmische Gammastrahlen im Bereich von 30 GeV<sup>1</sup> bis 100 TeV<sup>2</sup>  
**Ort:** La Palma (Spanien)  
**Projekt:** 165 Wissenschaftler aus elf Ländern

## 4. H.E.S.S.

**Größe:** vier Teleskope mit 12 m und ein Teleskop mit 28 m Durchmesser  
**Inbetriebnahme:** 2002  
**Was wird gemessen:** hochenergetische kosmische Gammastrahlung im Bereich von 30 GeV<sup>1</sup> bis 100 TeV<sup>2</sup>  
**Ort:** Region Khomas (Namibia)  
**Projekt:** 260 Wissenschaftler aus 13 Ländern

## 5. VERITAS

**Größe:** Vier Teleskope mit 12 m Durchmesser  
**Inbetriebnahme:** 2007  
**Was wird gemessen:** hochenergetische kosmische Gammastrahlung im Bereich von 85 GeV<sup>1</sup> bis 30 TeV<sup>2</sup>  
**Ort:** Arizona (USA)  
**Projekt:** 90 Wissenschaftler aus fünf Ländern



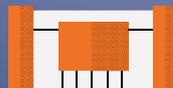
## 8. EINSTEIN-TELESKOP

**Messgerät:** Interferometer-System  
**Größe:** drei 10 km lange Tunnel  
**Inbetriebnahme:** möglicherweise 2030  
**Was wird gemessen:** Gravitationswellen von verschmelzenden Neutronensternen und schwarzen Löchern  
**Ort:** Dreiländereck Belgien/Deutschland/Niederlande und Sardinien, Italien, im Gespräch  
**Projekt:** europäisches Großprojekt in Diskussion  
**Beteiligte Helmholtz-Zentren:** KIT, DESY



## 7. ULTRASAT

**Messgerät:** Mini-Satellit mit UV-Teleskop  
**Größe:** < 1 m<sup>3</sup>, 160 kg  
**Inbetriebnahme:** 2024  
**Was wird gemessen:** ultraviolettes Licht  
**Ort:** geostationäre Umlaufbahn  
**Projekt:** Kooperation zwischen Israel und Deutschland  
**Beteiligtes Helmholtz-Zentrum:** DESY



## 6. IceCube

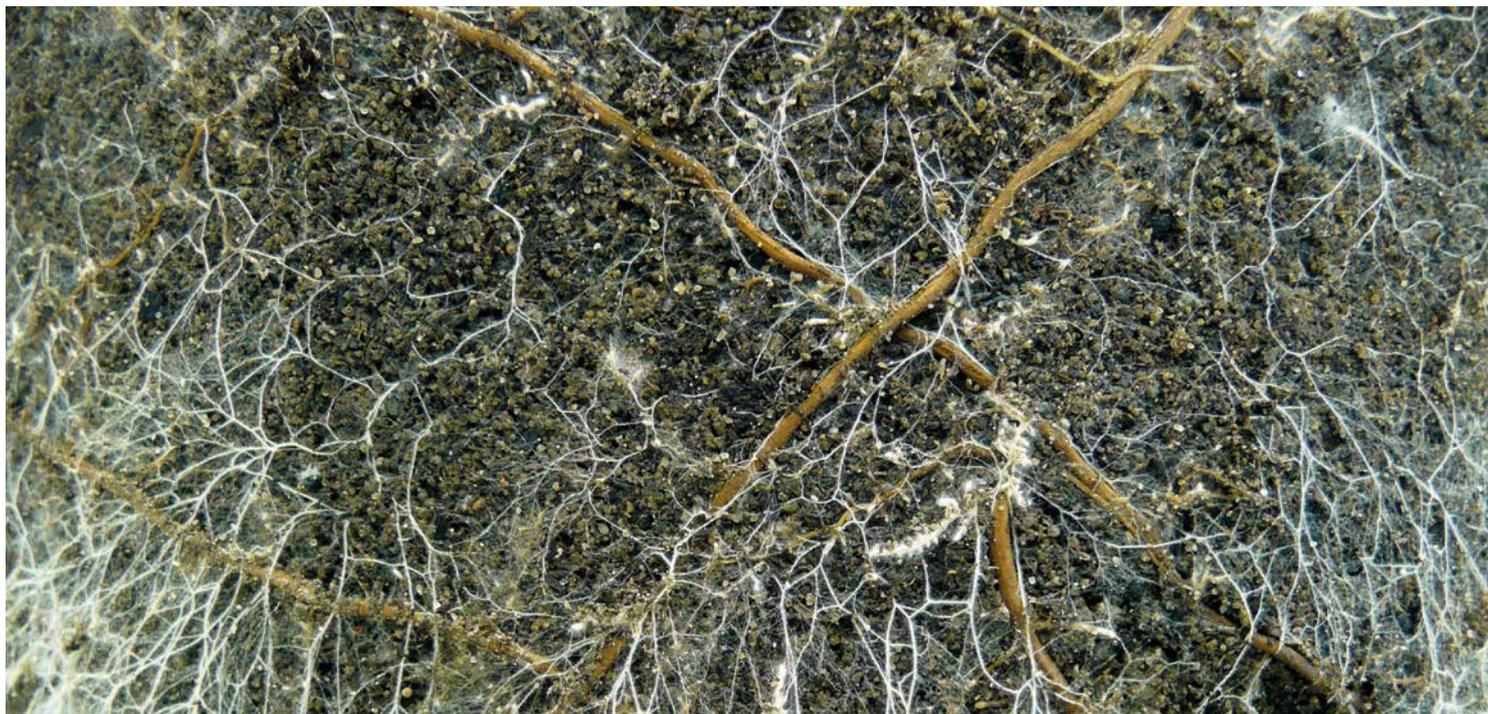
**Messgerät:** Neutrinooteleskop  
**Größe:** 5.160 Detektoren in einem 1 km<sup>3</sup> großen Volumen Eis  
**Was wird gemessen:** Neutrinos aus verschiedenen kosmischen Quellen, wie schwarzen Löchern und Supernovae  
**Bau:** 2004–2010  
**Ort:** geografischer Südpol (Antarktis)  
**Projekt:** 300 Wissenschaftler aus zwölf Ländern, davon 90 aus Deutschland  
**Beteiligte Helmholtz-Zentren:** DESY, KIT

Neben dieser Auswahl an Anlagen der Hochenergie-Astroteilchenphysik gibt es zahlreiche Experimente im Niederenergiebereich zur Suche nach dunkler Materie oder zum Studium von Neutrinos. Beispielsweise beteiligt sich Helmholtz teils federführend an den internationalen Experimenten KATRIN, ALPS, MADMAX, IAXO, XENON und DARWIN.

<sup>1</sup> Gigaelektronenvolt    <sup>2</sup> Teraelektronenvolt

# HELMHOLTZ extrem

## Der größte Organismus



**Gut vernetzt** Pilze bilden unterirdisch ein Netzwerk und leben in Symbiose mit ihrer Umgebung wie hier mit einer Eichenwurzel (braun). Bild: UFZ/Sylvie Herrmann

Die Vielfalt von Pilzen ist erstaunlich: Sie landen als Trüffel auf unserem Teller, sorgen in Form winziger Hefezellen dafür, dass der Teig aufgeht, oder können bei giftigen Vertretern auch schnell die letzte Mahlzeit gewesen sein. Sie bilden neben Tieren und Pflanzen das dritte Reich der sogenannten eukaryotischen Lebewesen. Die etwa fünf Millionen Pilzarten sind überall zu finden. Was man oberhalb des Waldbodens sieht, sind nur ihre Fruchtkörper. Unterhalb der Erdoberfläche bilden manche Pilzsorten allerdings ein Netzwerk ungeahnten Ausmaßes.

Ein Hallimasch in Oregon gilt sogar als der größte Organismus der Welt: Das Netzwerk dieses Pilzes erstreckt sich über eine Fläche von neun Quadratkilometern – das sind rund 1.200 Fußballfelder. Forscher schätzen, dass der Riesenpilz bis zu 8.500 Jahre alt und 400.000 Kilogramm schwer sein könnte. Das Netzwerk solcher Pilze besteht aus dünnen Pilzfäden, dem sogenannten Myzel. Es verbindet die Pilze mit anderen Lebewesen und Bodenbereichen und ermöglicht es ihnen, lebensnotwendige Stoffe auszutauschen. Pilze sind sesshaft und betreiben keine Photosynthese. Deshalb sind

sie selbst nicht in der Lage, Energie zu produzieren, sondern holen sich diese, indem sie Streu und Totholz abbauen oder auf Pflanzen, Tieren oder sogar anderen Pilzen als Parasit leben. Auch gehen viele von ihnen Symbiosen mit Pflanzenwurzeln ein. Das Myzel liefert dabei Stickstoff und Phosphor für das Pflanzenwachstum, im Gegenzug bekommen Pilze Zucker aus der Photosynthese.

Pilzforscher wie der Bodenökologe François Buscot vom Helmholtz-Zentrum für Umweltforschung – UFZ ergründen die Vielfalt und Funktionen der Myzelien. Sie sind sich sicher: Die Waldbewohner tauschen nicht nur Nährstoffe, sondern auch Botschaften aus und betreiben so eine Art der Kommunikation. Über bestimmte Stoffe senden und empfangen sie Informationen über dieses Netzwerk – beispielsweise über die Bodenbeschaffenheit, die Wasserversorgung oder gar darüber, ob Schädlinge oder Fressfeinde in der Nähe sind. So ist das gesponnene Netzwerk nicht nur für die Pilze, sondern auch für den Wald und dessen Bewohner überlebenswichtig. ◆

**Christin Liedtke**



**ONLINE**

Alle Ausgaben von  
HELMHOLTZ extrem  
unter:

→ [www.helmholtz.de/  
extrem](http://www.helmholtz.de/extrem)



# DER CORONA- EFFEKT

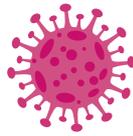
## ZURÜCK AUS DEM STAND-BY.

Während in den vergangenen Wochen die Forschung an SARS-CoV-2 auf Hochtouren lief, hatte das Virus das Leben, wie wir es kennen, schlagartig zum Stillstand gebracht.

Nur sehr behutsam kam es wieder in Bewegung.

Eins ist klar: Die Corona-Krise wird uns noch lange beschäftigen. Und vermutlich das Verhältnis der Wissenschaft zu Gesellschaft und Politik nachhaltig verändern.





Natürlich freut sich Dirk Heinz über die Briefe und Mails, die massenhaft am Helmholtz-Zentrum für Infektionsforschung (HZI) in Braunschweig eingegangen sind: Stolz klingt aus ihnen heraus, der Stolz vieler Bürger, dass es in ihrer Region ein solches Forschungszentrum gibt. Dirk Heinz ist der wissenschaftliche Geschäftsführer des HZI, und er schiebt gleich eine Einschränkung hinterher: Solche Zuschriften dürften die Wissenschaft natürlich nicht dazu verführen, die eigene Rolle zu überschätzen. „Die Arbeit der Forscher muss absolut seriös sein, an Spekulationen dürfen wir uns nicht beteiligen.“

Es ist ein schwieriger Spagat, den Dirk Heinz beschreibt: Wohl selten waren die Erwartungen und die Hoffnungen an Wissenschaftler so gewaltig wie während der Corona-Pandemie. Ohne die Forschung, ohne die wissenschaftlichen Einrichtungen wird es kein Medikament und keinen Impfstoff geben – das ist allen klar.



„Die gesellschaftliche Anerkennung für die Wissenschaft hat in den vergangenen 20, 30 Jahren etwas nachgelassen“, sagt Armin Grunwald und stellt fest: „Jetzt wird sie wieder stärker.“ Der Physiker und Philosoph leitet das Institut für Technikfolgenabschätzung und Systemanalyse (ITAS) am Karlsruher Institut für Technologie; seit Jahrzehnten schon beschäftigt er sich mit den Wechselwirkungen von Technik, Forschung und Gesellschaft. Seine Prognose: Die Corona-Krise wird innerhalb dieses Beziehungsdreiecks spürbare Folgen hinterlassen.

**ERSTENS** sei die Situation akut: „Beim Klimawandel wissen die Politiker, dass das Problem zu ihren Lebzeiten nicht seinen Höhepunkt erreicht – da erhöht man eben die Deiche ein wenig, den Rest überlässt man der nächsten Generation. Aber das Corona-Virus ist ein ganz neuer Problemtypus.“ So wenig sinnvoll das Verschieben ist, wenn es um die Klimakrise geht – bei der Pandemie ist es schlicht nicht möglich. Sie erfordert eine sofortige Reaktion, und jeder Fehler rächt sich umgehend. Was bedeutet das für die Wissenschaft? „Wichtig ist, dass wir hier genauso interdisziplinär arbeiten, wie wir das auf so vielen verschiedenen anderen Feldern auch tun. Es reicht nicht, die Virologen zu hören – wir brauchen jetzt auch Sozialwissenschaftler, Verhaltenspsychologen, Ökonomen und viele andere“, sagt Armin Grunwald.

**ZWEITENS:** Die Gesellschaft muss es aushalten, dass die Wissenschaftler kein Patentrezept liefern können – und auch, dass aus der Wissenschaft teils gegenläufige Stellungnahmen und Vorschläge kommen. „Bei uns in der Technikfolgenabschätzung bezeichnen wir das als Expertendilemma.“ Die Erklärung dafür liege in der Art, wie Forschung funktioniert: „Unser Wissen schlägt sich in Lehrbüchern nieder, dabei handelt es sich um stabiles Wissen – aber aus der Vergangenheit. Wir ziehen Schlüsse aus Geschehnissen und Beobachtungen, die hinter uns liegen. Wissenschaftler sind im Grunde in erster Linie Experten für die Vergangenheit.“ Laut Armin Grunwald stelle die Corona-Pandemie eine völlig neuartige Situation dar – die Wissenschaft wird die vielen Fragen, die sich stellen, deshalb erst in Monaten oder Jahren sicher beantworten können. Welche Wissenschaftler aber finden Gehör – sind es immer nur die mit den schillerndsten Thesen?

„Wichtig ist, dass wir hier interdisziplinär arbeiten.  
Es reicht nicht, die Virologen zu hören.“

Armin Grunwald, ITAS



**Besuch am HZI** Dirk Heinz, wissenschaftlicher Geschäftsführer des HZI (Zweiter von rechts) und Virologin Melanie Brinkmann (rechts) führten Bundesforschungsministerin Anja Karliczek über das Gelände. Bild: HZI/Verena Meier

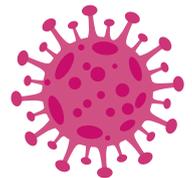
In der Corona-Zeit habe die Digitalisierung indes ihre gewaltigen Vorteile gezeigt – „auf einmal geht vieles, was vorher jahrelang nicht ging“.

**UND SCHLIEBLICH**, sagt er, dränge sich ihm die Parallele zu einer Untersuchung auf, die er unlängst als Leiter des Büros für Technikfolgenabschätzung beim Deutschen Bundestag verantwortet hatte: Was passiert, so lautete die Fragestellung für das Szenario, wenn es in Deutschland zu einem längeren Stromausfall käme? „Die Folgen wären verheerend, weil so viele Bereiche des Lebens auf Technik, auf digitale Steuerung angewiesen sind – und die fielen komplett aus.“ Da sieht er eine Parallele zur derzeitigen Corona-Situation. Man habe „zu wenige Pläne B“, kritisiert er: „Wir sind eine Gesellschaft, die von der Hand in den Mund lebt. Wenn man Hunger hat, geht man etwas einkaufen, während früher eine Speisekammer selbstverständlich war. Was mich wundert, ist nur, dass das offenbar auch für die Wirtschaft gilt: dass schon nach wenigen Wochen bei vielen Unternehmen keinerlei Puffer mehr da ist.“

In der Corona-Zeit habe die Digitalisierung indes ihre gewaltigen Vorteile gezeigt – „auf einmal geht vieles, was vorher jahrelang nicht ging“, sagt er mit Blick auf Homeoffice und schulische Lehre. Einige dieser Dinge würden ohne Frage bleiben, wenn die Pandemie vorbei ist. „Aber wir erkennen

eben auch, dass das Digitale nur ein Ersatz ist. Bei manchen Dingen funktioniert es gut, bei anderen ist es erbärmlich.“

Eine Helmholtz-Forscherin, die sich intensiv mit den gesellschaftlichen Auswirkungen der Corona-Krise beschäftigt, ist Katrin Amunts. Die Hirnforscherin vom Forschungszentrum Jülich war bis zum Auslaufen ihrer zweiten Amtszeit im April die stellvertretende Vorsitzende des Deutschen Ethikrats. Unter anderem beschäftigt sie die Frage, was die Unsicherheit mit den Menschen macht. Denn die Prognosen, wie lange die Krise anhalten wird, unterscheiden sich stark – die Spannweite reicht von einigen Monaten bis zu mehreren Jahren. Wird die Corona-Pandemie →





## ONLINE

Wie der Lockdown einzigartige Messungen zur Atmosphäre ermöglicht:

→ [www.helmholtz.de/atmosphaere](http://www.helmholtz.de/atmosphaere)



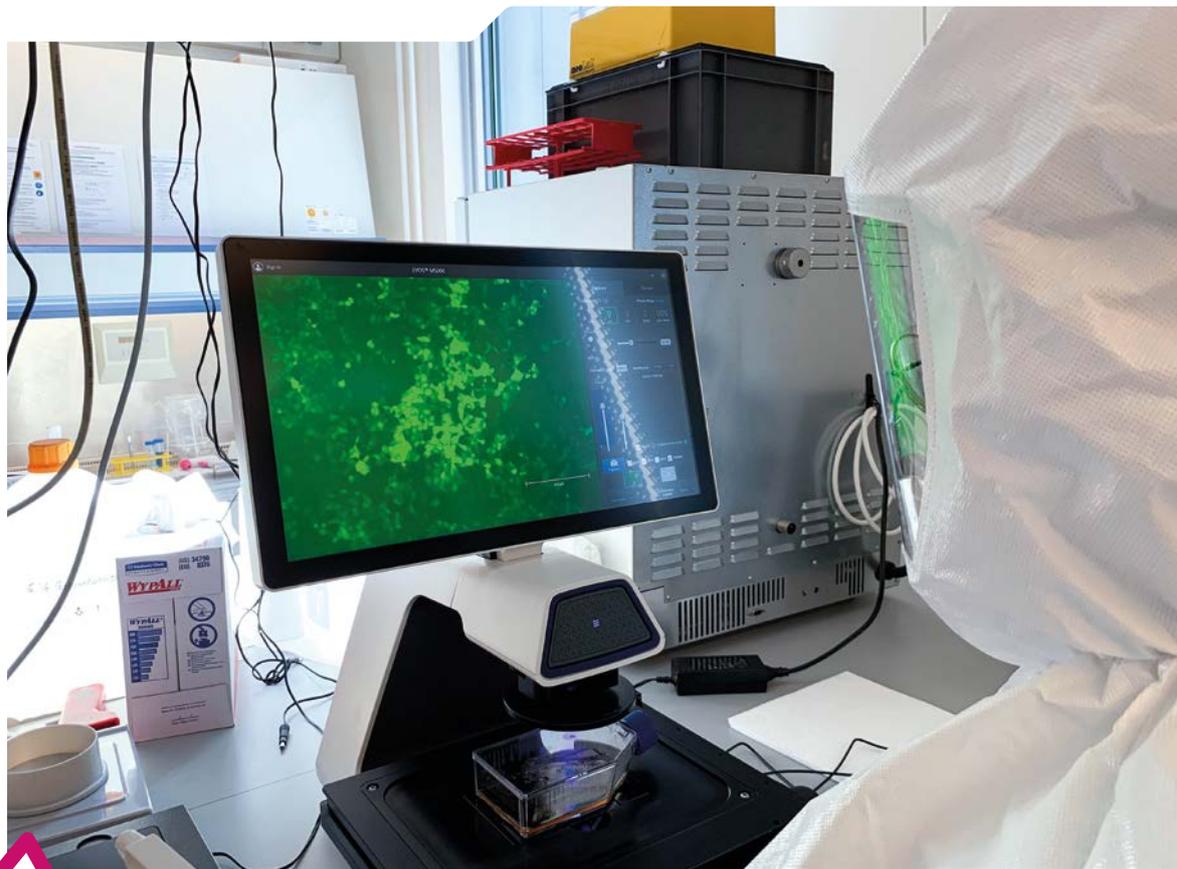
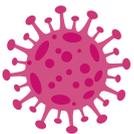
unsere Gesellschaft verändern? „Den Eindruck habe ich persönlich schon“, sagt Katrin Amunts, „und nehme auch wahr, dass es vielen so geht.“ Die Verwundbarkeit der Lebensweise werde offengelegt, aber die Krise könnte auch die Chance in sich tragen, das Land und die Gesellschaft zu stärken. „Wir werden wissen, was wir gemeinsam durchstehen können“, glaubt sie.

Katrin Amunts war federführend dabei, als der Ethikrat Ende März eine Ad-hoc-Empfehlung mit dem Titel „Solidarität und Verantwortung in der Corona-Krise“ veröffentlichte. Auf Initiative der Politik: Der Bundesgesundheitsminister hatte den Rat um eine Einschätzung zur Pandemie und den gesellschaftlichen Folgen gebeten. Zwei Dutzend hochkarätige Experten gehören dem Ethikrat an, sie stammen unter anderem aus den Bereichen Philosophie, Jura, Theologie und natürlich Medizin. Er erarbeitet Stellungnahmen und Empfehlungen zu ganz unterschiedlichen Themen. Und: Wurde hinter den Kulissen heftig gestritten, wie mit Corona umzugehen sei? „Die Perspektiven der Ratsmitglieder unterscheiden sich natürlich, und es wird mitunter kontrovers diskutiert“, sagt Katrin Amunts diplomatisch. Das Papier des Ethikrats

gibt Orientierungspunkte für den Kampf gegen Corona – und bezieht konkret auch die Wissenschaft mit ein. Die „Unterstützung von interdisziplinärer Forschung zu sozialen, psychologischen und anderen Effekten“ wird ausdrücklich gefordert. Und die Autoren zeigen auch die Grenzen der Wissenschaft auf: „Es widerspräche dem Grundgedanken demokratischer Legitimation, politische Entscheidungen an die Wissenschaft zu delegieren und von ihr eindeutige Handlungsanweisungen für das politische System zu verlangen“, heißt es dort: „Gerade schmerzhaft Entscheidungen müssen von den Organen getroffen werden, die hierfür durch das Volk mandatiert sind.“

**„Forscher müssen sicherstellen, dass ihre Kommunikation auf Fakten basiert. Mit politischen Folgerungen sollten sie sich zurückhalten.“**

Dirk Heinz vom HZI in Braunschweig hat klare Vorstellungen davon, was die Wissenschaft in der Krise leisten kann – und was sie nicht leisten darf. Sein erster Punkt: „Forscher müssen sicherstellen,



**Unterm Mikroskop** Unter strengen Sicherheitsvorkehrungen untersucht eine HZI-Forscherin eine mit SARS-CoV-2 infizierte Zellkultur (grün fluoreszierend). Bild: HZI/Susanne Talay



**Auswirkungen** Hirnforscherin Katrin Amunts vom FZ Jülich beschäftigt die Frage, was die Unsicherheit mit den Menschen macht. Bild: FZ Jülich/Sascha Krecklau

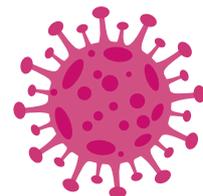
dass ihre Kommunikation auf Fakten basiert. Mit politischen Folgerungen sollten sie sich zurückhalten.“ Dass also beispielsweise die Lockerung von Corona-Maßnahmen verfrüht sei, gehöre zu jenen Urteilen, die der Politik zustünden und nicht den Fachwissenschaftlern.

Zu ähnlicher Zurückhaltung rät er im Kontakt mit Politikern: „Da sollten wir nicht Versprechungen machen, die die Forschung nicht halten kann“, sagt er – und bringt es auf die englische Formel: „Underpromise and overdeliver!“ Wie aber lässt sich mit dem gewaltigen Erwartungsdruck umgehen, möglichst schnell ein Medikament oder gar einen Impfstoff zu entwickeln? Die hohe Geschwindigkeit schließlich steht im Gegensatz zu den obersten wissenschaftlichen Prinzipien, die mit sorgfältiger Prüfung und nachvollziehbarer Datensammlung zu tun haben. Nein, sagt Dirk Heinz, an diesen Prinzipien dürfe nicht gerüttelt werden, um schnellere Ergebnisse zu erzielen. Hilfreich sei etwas anderes: Dass derzeit Arbeitsgruppen aus aller Welt so eng zusammenarbeiten, dass sich selbst die Teams konkurrierender Pharmafirmen kurzschließen – das sei das Rezept, um unter Einhaltung sämtlicher wissenschaftlicher Standards zu einem raschen Ergebnis zu kommen. „Die vielen parallelen Aktivitäten können den Erkenntnisgewinn rasant beschleunigen“, so formuliert er es. Und ganz nebenbei könnten die Erfahrungen aus dieser Phase dazu beitragen, dem Open-Access-Prinzip zum Durchbruch zu verhelfen.

**„Wir haben vergessen, dass wir anfällig sind für Viren und Infektionen, weil sie dank der medizinischen Fortschritte keine gravierende Rolle mehr gespielt haben.“**

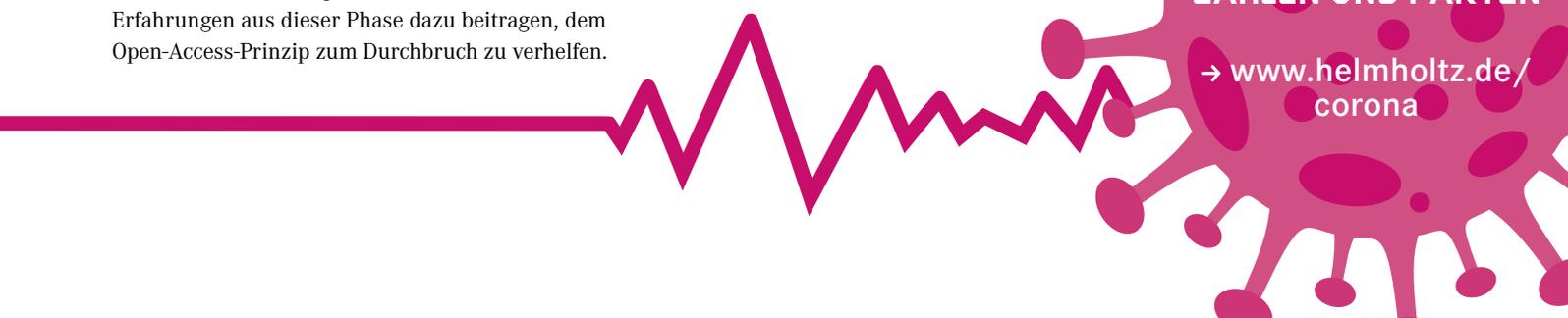
Mit Blick auf die langfristigen Auswirkungen von Corona auf die Wissenschaft sind sich Dirk Heinz, der Strukturbiologe, und der Technikfolgen-Spezialist Armin Grunwald absolut einig: „Wir haben vergessen, dass wir anfällig sind für Viren und Infektionen, weil sie dank der medizinischen Fortschritte im 20. Jahrhundert in der westlichen Welt keine gravierende Rolle mehr gespielt haben“, schlussfolgert Dirk Heinz und sagt eine Renaissance der Infektionsforschung voraus. Armin Grunwald geht noch einen Schritt weiter: „Wir erleben gerade hautnah, wie entscheidend Vorsorgeforschung ist. Man kann viele entscheidende Fragestellungen künftig nicht mehr bequem verdrängen nach dem Motto: ‚Das wird uns schon nicht passieren!‘“ Diese Erfahrung werde die Forschungspolitik der kommenden Jahre nachhaltig prägen.

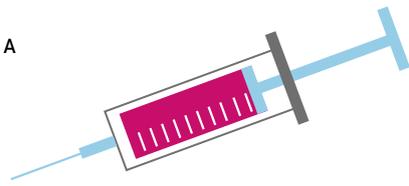
**Kilian Kircheßner**



**AKTUELLE  
FORSCHUNG,  
ZAHLEN UND FAKTEN**

→ [www.helmholtz.de/  
corona](http://www.helmholtz.de/corona)





# CORONA: WORAN AKTUELL GEFORSCHT WIRD

Helmholtz hat einen Teil seiner Forschung auf SARS-CoV-2 fokussiert und arbeitet eng mit Partnerinstitutionen zusammen. Die Datenlage und der Wissensstand ändern sich rasant. Aber: Sich ständig neuen Erkenntnissen anzupassen gehört zur wissenschaftlichen Arbeit dazu. Ein Überblick.

## IMPfstOFFE

### Wie kann ein Impfstoff entwickelt werden?

Eine Impfung täuscht dem Körper vor, er sei mit einem Erreger wie SARS-CoV-2 infiziert. Daraufhin bildet das Immunsystem spezifisch Antikörper: Infiziert man sich tatsächlich, wird der Erreger bekämpft und die Erkrankung idealerweise abgewehrt. Für die Entwicklung eines Impfstoffs gibt es verschiedene Ansätze: Man kann dem Körper Virusfragmente verabreichen, sodass das Immunsystem lernt, wie bestimmte Oberflächenmoleküle des Virus aussehen. Relativ neu ist, dafür Nukleinsäuren des Virus zu nutzen. DNA oder RNA wird im Körper in Proteine übersetzt, die die Immunantwort auslösen. Die Impfstoffentwicklung läuft weltweit auf Hochtouren. Eine Zulassung erfolgt aber erst, wenn Impfschutz, Sicherheit und Nebenwirkungen genau geprüft wurden.

Zahlreiche Helmholtz-Zentren arbeiten an Impfstoffkandidaten. Dazu untersuchen sie, wie das Immunsystem des menschlichen Körpers auf SARS-CoV-2 reagiert. Am **Helmholtz-Zentrum für Infektionsforschung** (HZI) beruht ein Ansatz darauf, einen Impfstoff zu entwickeln, der über die Schleimhäute verabreicht werden kann. Bei SARS- und MERS-CoV konnten neutralisierende Antikörper gegen ein Protein, das für alle Coronaviren essenziell ist, stimuliert und so eine Infektion verhindert werden. Wäre dieses Vorgehen auch bei SARS-CoV-2 erfolgreich, wären möglicherweise weite Teile der Bevölkerung auch gegen andere Coronaviren geschützt. Bei einem anderen Ansatz isolieren Forscher monoklonale Antikörper aus den sogenannten B-Gedächtniszellen von Patienten, die eine Infektion überstanden haben. Diese werden auf die Bindung und Neutralisation des Virus getestet und aussichtsreiche Kandidaten schnellstmöglich in klinische Tests überführt.

Forscher des **GSI Helmholtzzentrums für Schwerionenforschung** nutzen übrigens hochenergetische Schwerionen, um Viren abzutöten. Im Vergleich zu anderen Methoden bleibt dabei die für die Immunantwort entscheidende Virushülle weitgehend intakt. Die abgetöteten Viren werden anschließend für die Entwicklung neuer Impfstoffe genutzt.

## WIRKSTOFFE

### Wo liegen potenzielle Schwachstellen des Virus?

Um ein wirksames Medikament zu finden, muss man wissen, wie sich das Virus vermehrt und wo mögliche Schwachstellen liegen. Vielversprechend könnten vor allem Wirkstoffe sein, die aus der Bekämpfung anderer (Virus-)Erkrankungen bereits bekannt sind. Ihr Vorteil: Ihre Verträglichkeit wurde in klinischen Studien bereits belegt.

Zahlreiche Projekte an mehreren Helmholtz-Zentren fokussieren sich auf die Entwicklung von Wirkstoffen. Sie testen viele bereits existierende Moleküle auf ihre Wirksamkeit gegen das Virus oder versuchen, neuartige Wirkstoffe zu finden. Dazu untersuchen sie beispielsweise, welche Proteine, Signalwege und molekularen Strukturen das Virus im menschlichen Körper ausnutzt und umprogrammiert. Forscher des **Max-Delbrück-Centrums** (MDC) untersuchen beispielsweise nicht nur, wie sich SARS-CoV-2 genetisch verändert, sondern auch welche Zelltypen sich infizieren, wie verschiedene Zellen auf die Infektion oder die Behandlung reagieren und welche Moleküle dafür wichtig sind. Das sind nur einige Beispiele, wie Helmholtz-Forscher versuchen, Eintrittspforten und potenzielle Schwachstellen des Virus zu identifizieren. Dafür setzen sie auch Methoden der künstlichen Intelligenz und des maschinellen Lernens ein oder nutzen Supercomputer für virtuelle Screenings von Wirkstoffen wie beispielsweise das **Forschungszentrum Jülich**.

Forscher am **Helmholtz-Zentrum Berlin** konnten mithilfe des Teilchenbeschleunigers Bessy II die 3-D-Struktur der sogenannten Hauptprotease des Virus entschlüsseln – eines wichtigen Enzyms für die Virusvermehrung. Nun werden Hunderte kleine Molekülsubstanzen darauf getestet, ob sie an die Hauptprotease andocken können. Am **Deutschen Elektronen-Synchrotron DESY** wurde mithilfe des Teilchenbeschleunigers Petra III bei mehr als 7.000 bekannten Wirkstoffen untersucht, ob und wie sie an das Schlüsselenzym binden.

## RISIKOGRUPPEN



### Welche Personen haben ein erhöhtes Risiko?

Der Krebsinformationsdienst des **Deutschen Krebsforschungszentrums** (DKFZ) und der Lungeninformationsdienst des **Helmholtz Zentrums München** (HMGU) beantworten Fragen von Krebspatienten oder Personen mit Vorerkrankungen der Lunge sowie deren Angehörigen. Zudem erteilt der Allergieinformationsdienst Auskünfte für Menschen mit Allergien und Asthma. Menschen mit Diabetes können sich an das nationale Diabetesinformationsportal **diabinfo** wenden.

Weltweit wird versucht, Risikofaktoren für eine Virusinfektion und schwere Krankheitsverläufe zu identifizieren. Beispielsweise konnten HMGU-Forscher mithilfe von Data-Science-Methoden eine molekulare Erklärung dafür finden, warum Raucher, Männer und ältere Menschen ein erhöhtes Risiko hierfür haben, und untersuchen mögliche Komplikationen bei Patienten mit Diabetes sowie chronischen Lungenerkrankungen.

## AUSBREITUNG

### Wie hat sich das Virus in der Bevölkerung verbreitet?

Die offiziellen Meldezahlen spiegeln nur einen Teil der tatsächlichen SARS-CoV-2-Infektionen wider, da nicht jeder Infizierte so starke Symptome entwickelt, dass er zum Arzt geht.

Zu Beginn der ersten Fälle in Deutschland haben Forscher des **HZI** und des **Forschungszentrums Jülich** modelliert, wie stark sich das Virus ausbreiten könnte – und dabei verschiedene Maßnahmen zur Kontaktbeschränkung einberechnet.

In der jetzigen Lage ist ein gutes Monitoring notwendig, um Infektionsketten frühzeitig zu unterbrechen. Das **CISPA – Helmholtz-Zentrum für Informationssicherheit** unterstützt die Entwicklung der Corona-Warn-App. Sie informiert, wenn man Kontakt mit infizierten Personen hatte. Das Tool **SORMAS** des **HZI** hilft Gesundheitsämtern, das datenaufwendige Management von Kontaktpersonen bestätigter Infektionsfälle konsequent zu bewältigen und Maßnahmen zu koordinieren.

Da relevante Mengen an Virusmaterial auch in Ausscheidungen zu finden sind, untersuchen Forscher des **Helmholtz-Zentrums für Umweltforschung** bundesweit Abwasserproben, um Rückschlüsse auf mögliche Infektionsherde zu ziehen.

Einen aktuellen Überblick über die Ausbreitung des Virus bieten Datenanalysen und virtuelle Karten des **Karlsruher Instituts für Technologie** und des **MDC**.



## KLIMA, REISEN & CO.



### Was wird in anderen Bereichen geforscht?

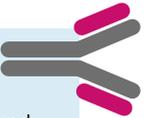
Der Lockdown sorgte durch weniger Verkehr und Industriekaktivität für den stärksten Rückgang von Treibhausgasemissionen seit rund 60 Jahren. Doch erste Auswertungen von Helmholtz-Forschern zeigen, dass der Shutdown die CO<sub>2</sub>-Konzentrationen in der Atmosphäre nur unbedeutend senkt.

Die klare Luft ließ allerdings mehr Licht zu den Photovoltaikanlagen dringen, sodass diese mehr Strom erzeugten – das zeigten Forscher des **Helmholtz-Instituts Erlangen-Nürnberg**.

Forscher des **Deutschen Luft- und Raumfahrtzentrums** ermitteln, wie Luftströme in Flugzeugen und Zügen verlaufen. So lassen sich Rückschlüsse ziehen, wie sich Atemwolken von Passagieren während der Reise verteilen.

## ANTIKÖRPER

### Wie groß ist die Immunität in der Bevölkerung?



Groß angelegte Studien sind notwendig, um den Verlauf und die Schwere der Pandemie genauer abschätzen und die Immunität innerhalb der Bevölkerung bewerten zu können.

In Bevölkerungsstudien des **HZI** und des **Deutschen Zentrums für Neurodegenerative Erkrankungen** wird das Blut Tausender Spender regelmäßig auf Antikörper analysiert. Dabei wird auch die Verbreitung des Virus in besonders betroffenen Gebieten sowie die Anfälligkeit von Kindern untersucht.

Das **Helmholtz Zentrum München** ermittelt den Infektions- und Antikörperstatus bei rund 3.000 Münchener Haushalten.

Das **HZI**, das **DKFZ** und das **MDC** verbessern die Diagnostik in diesem Bereich. Sie arbeiten an Tests, mit denen sich die Infektionsanfälligkeit und die Dauer der Immunantwort besser beurteilen lassen.

Neue Erkenntnisse über die Verbreitung, Immunität sowie langfristige gesundheitliche Auswirkungen von SARS-CoV-2 in ganz Deutschland sollen im Rahmen der etablierten **NAKO-Gesundheitsstudie**, an der mehr als 200.000 Menschen teilnehmen, gewonnen werden.

**AKTUELLE FORSCHUNG, ZAHLEN UND FAKTEN**

→ [www.helmholtz.de/corona](http://www.helmholtz.de/corona)



## → HELMHOLTZ kompakt



**Folgenreich** Nutzt eine Schwangere Kosmetika, die Parabene enthalten, könnte ihr Nachwuchs später Übergewicht entwickeln. Bild: Shutterstock/Syda Productions

### Übergewicht durch parabenhaltige Kosmetika

Parabene sind chemische Verbindungen, die in vielen Cremes, Lotionen und Duschgels als Konservierungsmittel eingesetzt werden. Was die Kosmetika vor Keimen schützt, kann allerdings bedenkliche Nebeneffekte haben: „Nehmen Schwangere Parabene über die Haut auf, kann dies zu Übergewicht bei ihren Kindern führen“, sagt der Umweltimmunologe Tobias Polte vom **Helmholtz-Zentrum für Umweltforschung – UFZ**. Besonders betroffen von diesem Effekt seien Töchter. Ausgangspunkt der Untersuchungen war die Langzeit-Mutter-Kind-Studie LINA; in ihr wird die Bedeutung von Umweltbelastungen in sensiblen kindlichen Entwicklungsphasen erforscht. In weiteren Untersuchungen an Mäusen wiesen die UFZ-Forscher gemeinsam mit Kollegen der Universität Leipzig, der Charité und dem Berlin

Institute of Health nach, dass Parabene bei den Nachkommen epigenetische Veränderungen hervorrufen. Bei den Betroffenen wird ein Gen, das das Hungergefühl im Gehirn steuert, stark herunterreguliert. Die Folge: Das natürliche Sättigungsgefühl gerät aus dem Takt, der Nachwuchs isst mehr und das Risiko für Übergewicht steigt. Wie stabil diese epigenetischen Veränderungen sind und ob sie weitervererbt werden, können die Forscher bislang noch nicht sagen. Jedoch geben sie eine klare Empfehlung: Werdende Mütter sollten während der sensiblen Phasen von Schwangerschaft und Stillzeit unbedingt auf parabenfreie Produkte zurückgreifen.

*Publikation: doi: 10.1038/s41467-019-14202-1*



**Geborgen** Das mit Sensoren bestückte Gestell des Observatoriums lag etwa 200 Meter vom Ursprungsort entfernt in 20 Metern Tiefe kopfüber auf dem Meeresboden. Schlechte Sicht erschwerte die Suche. Bild: GEOMAR/Martin Steen

## Wird das Rätsel um das lang verschollene Observatorium jetzt gelöst?

Rund ein halbes Jahr war es unauffindbar. Ende Februar hat ein Wracksuchschiff zumindest einen Teil des Boknis-Eck-Unterwasserobservatoriums geortet und geborgen. Bis zu seinem Verschwinden im August 2019 hatte es in der Eckernförder Bucht Umweltdaten am Meeresboden erhoben, die Rückschlüsse auf den Zustand des Ökosystems der südwestlichen Ostsee zulassen. Dann brach der Kontakt ab. Das Observatorium galt als verschollen – bis jetzt. „Das Gestell ist zwar in verhältnismäßig gutem Zustand. Aber die Sensoren sind stark beschädigt oder fehlen ganz“, sagt Hermann Bange vom **GEOMAR Helmholtz-Zentrum für Ozeanforschung Kiel**. Wie das nun geborgene Gestell zur Fundposition gelangte, bleibt bislang ebenso unklar wie der Verbleib des zweiten Gestells.

## Der Mars bebt wie die Schwäbische Alb

Der Mars ist ein seismisch aktiver Planet und bebt mehrmals täglich. Insgesamt 174 seismische Ereignisse hat die Marssonde InSight von Februar bis September 2019 aufgezeichnet. Dabei wurden etwa 20 vergleichsweise leichte Beben der Stärke 3 bis 4 gemessen, wie sie auf der Erde etwa am Südrand der Schwäbischen Alb gelegentlich auftreten. „Wir sehen auf dem Mars bisher eine seismische Aktivität, die deutlich stärker ist als die des Mondes. Wie viel stärker sie tatsächlich ist und ob es auch stärkere Marsbeben als solche der Magnitude 4 gibt, wird sich im weiteren Verlauf der Mission noch herausstellen“, sagt Martin Knapmeyer vom **DLR-Institut für Planetenforschung**, der an der Datenauswertung beteiligt ist. Neue Erkenntnisse gibt es bereits jetzt zum inneren Aufbau des Planeten: „Ähnlich wie auf dem Mond scheint die Kruste bis in eine Tiefe von einigen Kilometern stark zerrüttet zu sein – dennoch ähneln die seismischen Signale mehr denen, die wir auf der Erde registrieren, als denen, die wir vom Mond kennen. Vieles muss also noch verstanden werden“, sagt der Geophysiker. Die Mission wird noch mindestens bis Ende 2020 fortgeführt und liefert kontinuierlich weitere Daten.

Publikation: doi: 10.1038/s41561-020-0544-y



**Empfindlich** Das Seismometer SEIS registriert auch kleinste Bewegungen im Marsboden und besteht aus insgesamt sechs Sensoren. Bild: IPGP/N. Sarter

## Höhere Bildung – weniger Bewegung

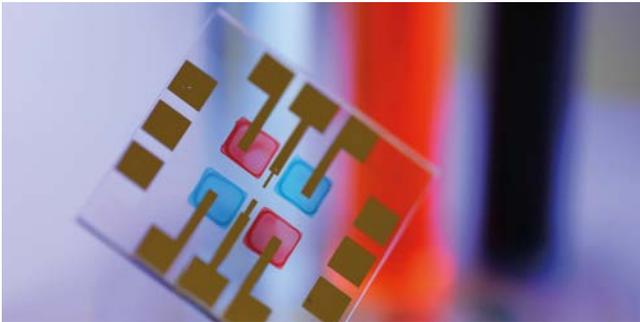


**Ungesund** Menschen mit höherem Bildungsgrad bewegen sich im Schnitt weniger, da sie vermehrt im Sitzen arbeiten. Bild: Pixabay

Bewegung ist gesund. Das ist bekannt und gut belegt. Doch wie beeinflussen Faktoren wie Alter, Geschlecht oder Bildung, wie viel Menschen sich bewegen? Forscher vom **Max-Delbrück-Centrum für Molekulare Medizin in der Helmholtz-Gemeinschaft (MDC)** werteten nun die Daten von etwa 250 Personen aus, die zwei Wochen lang ein Aktivitätsmessgerät trugen. Die Bewegungsprofile stammten aus einem Vortest der NAKO Gesundheitsstudie, einer Langzeitstudie mit rund 200.000 Probanden. „Einige unserer Ergebnisse waren natürlich zu erwarten gewesen, etwa eine Abnahme intensiver Aktivitäten mit steigendem Alter“, sagt MDC-Forscherin Lina Jaeschke. Weitere Erkenntnisse: Raucher verbrachten weniger Zeit in intensiver Aktivität, aber mehr Zeit in leichter Aktivität als Nichtraucher. Ein höherer Body-Mass-Index geht im Durchschnitt mit weniger Aktivität einher. Überraschend war, dass sich Menschen mit einem höheren Bildungsgrad weniger bewegten. Bislang zeigten Studien, dass die körperliche Aktivität mit dem Bildungsgrad zunimmt. Eine mögliche Ursache sehen die Forscher darin, dass gut gebildete Menschen häufiger Berufe ausüben, in denen sie viel sitzen.

Publikation: doi: 10.1038/s41598-020-57648-w

## Druckbare Lichtsensoren erkennen Farben



Kameras, Lichtschranken und Bewegungsmelder verbindet eines: Sie nutzen Lichtsensoren. Auch bei der Kommunikation könnten diese Sensoren eine wichtige Rolle spielen, indem sie die Datenübertragung mittels Licht ermöglichen und so eine Alternative zu WLAN oder Bluetooth bieten. Forscher des **Karlsruher Instituts für Technologie (KIT)** arbeiten für die Entwicklung solcher Sensoren nun mit Halbleitermaterialien. Das Besondere: Sie reagieren auf unterschiedliche Wellenlängen und können somit Farben unterscheiden. Zudem lassen sie sich wie Druckerfarbe auf einen Träger aufdrucken. „Diese Fotosensoren können in großen Stückzahlen in jedem Design auf flexiblen, leichten Materialien hergestellt werden. Daher sind sie besonders für mobile Geräte geeignet“, sagt KIT-Forscher Noah Strobel.

Publikation: doi: 10.1038/s41467-019-14202-1

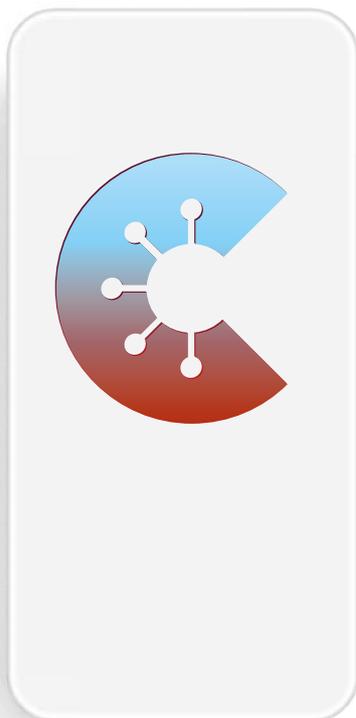
## Kavli-Preis für Nanowissenschaften



Maximilian Haider vom **Karlsruher Institut für Technologie (KIT)** und Knut Urban vom **Forschungszentrum Jülich** erhalten den mit einer Million Euro dotierten Kavli-Preis für Nanowissenschaften gemeinsam mit ihren Kollegen Harald Rose und Ondrej Krivanek. Die Forscher bauten in den 1990er-Jahren das weltweit erste Elektronenmikroskop mit aberrationskorrigierten Linsen. Sie gelten als Wegbereiter heutiger Elektronenmikroskope, die ein Auflösungsvermögen von etwa einem Milliardstel eines Zentimeters besitzen. Mit ihnen lassen sich Materialien für bessere Datenspeicher und Prozessoren, die Eigenschaften von Höchstleistungswerkstoffen für Brennstoffzellen, Batterien oder Solarzellen, aber auch die Funktion biologischer Makromoleküle mit atomarer Auflösung untersuchen. ◆

Annette Doerfel, Martin Trinkaus und Julika Witte

Anzeige



DIE CORONA-WARN-APP:

**HILFT. WENN DU  
MITMACHST.**

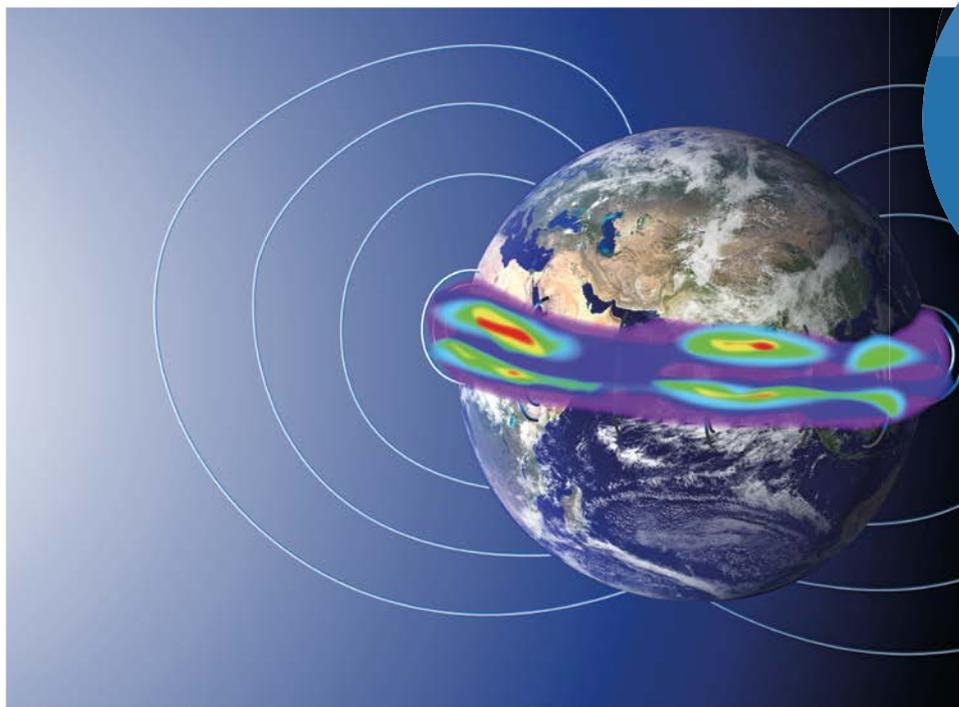
Jetzt die Corona-Warn-App herunterladen  
und Corona gemeinsam bekämpfen.



Die  
Bundesregierung

# NACHGEFRAGT:

„WANN POLT  
SICH DAS  
ERDMAGNETFELD  
UM?“



**Instabil?** Das durch Strömungen im Erdkern hervorgerufene Magnetfeld wird zunehmend schwächer. Bild: NASA's Goddard Space Flight Center/Duberstein

Die Erde ist von einem Magnetfeld umgeben. Wie ein Schutzschild hält es Strahlung aus dem Weltall ab. Monika Korte, Expertin für Geomagnetismus vom Helmholtz-Zentrum Potsdam Deutsches GeoForschungsZentrum GFZ, beschreibt, wie sich dieser Schutzschild verändert.

„ Das Erdmagnetfeld ist ständig in Bewegung. Zum größten Teil entsteht es aus dem äußeren Erdkern, der flüssig und leitfähig ist. Aufgrund der Fließbewegung und der Erdrotation wirken hier Kräfte wie in einem Dynamo und es bilden sich elektrische Ströme. Das Feld hat – wie jeder Magnet, den man sich an den Kühlschrank heftet – zwei Pole, es ist also „dipolar“. Der Nord- und der Südpol des Erdmagnetfelds befinden sich zwar in der Nähe der geografischen Pole, stimmen aber nicht mit ihnen überein. Und sie wandern langsam.

Im Laufe der Zeit haben der magnetische Nord- und Südpol mehrfach ihre Position getauscht, zuletzt vor rund 780.000 Jahren. Im Durchschnitt findet eine Umpolung alle 500.000 Jahre statt, doch in der gesamten Kreidezeit etwa waren die Pole stabil. Die Analyse von Gesteinen und Ozeansedimenten

erlaubt den Blick in die Vergangenheit, denn in ihnen können alte Magnetfeldausrichtungen „eingefroren“ sein: Eine Umpolung ist ein Prozess und dauert Hunderte Jahre, die Pole tauschen also nicht einfach ihre Position. Alles deutet darauf hin, dass das Magnetfeld zunächst schwächer wird und dann womöglich sogar mehrere Pole auftreten, bevor das Feld wieder eine dipolare Struktur aufbaut – mit neuer Polung. Auch zurzeit nimmt das Magnetfeld deutlich ab, sodass diskutiert wird, ob das der Beginn einer Umkehr sein könnte. Vorhersagen lässt sich das aber nicht. Vieles rund um die sogenannte Feldumkehr ist noch unbekannt: Welche Auswirkungen hatte es etwa auf die Evolution, als das Magnetfeld sehr schwach war und mehr hochenergetische Teilchen in die Erdatmosphäre gelangten?

Um Veränderungen besser zu verstehen, brauchen wir mehr Daten, auch aus Vulkangestein. Besonders wichtig ist für uns eine genaue zeitliche Einordnung der weltweit gewonnenen Messergebnisse. Nur so können wir regionale Unterschiede in der Vergangenheit erkennen.

Nachgefragt hat **Kristine August**



**ONLINE**

Alle Ausgaben von  
Nachgefragt:

→ [www.helmholtz.de/  
nachgefragt](http://www.helmholtz.de/nachgefragt)



# Eine Frage der Erde

Die Landwirtschaft steckt in der Zwickmühle: Sie soll die Menschheit ernähren und nachwachsende Rohstoffe liefern, zugleich aber steht sie als Klimawandeltreiber, Tierausbeuter und Insektenkiller am Pranger. Wie kann eine nachhaltige Landwirtschaft gelingen – und: Sind Biobetriebe wirklich die Lösung?



Oh Gott! Das geht doch nicht!“ Landwirt Jochen Hartmann erinnert sich genau an seine erste Reaktion an jenem Januartag im Jahr 2017. An seinem Küchentisch hat sie gegessen, eine ganze Gruppe von Fachleuten, die auf ausgewählten Bauernhöfen Methoden testen wollte, um die Artenvielfalt in Agrarlandschaften zu erhalten. Was sie vorschlugen, widersprach vielem, was Jochen Hartmann einst gelernt hatte: Einen zwölf Meter breiten Blühstreifen solle er anlegen, Schafgarbe, Fenchel, Dill und weitere Kräuter, als Futterquelle und Rückzugsort für Tiere. Zwölf Meter Durcheinander, mitten im Feld. Aber der Landwirt ließ sich auf das Experiment ein: „Mir war klargeworden, dass sich etwas ändern muss in der Art, wie wir Landwirtschaft betreiben“, sagt er.

Die Ausgangslage ist klar: Die Biodiversität geht zurück, Methan- und Lachgasemissionen aus Viehzucht und Ackerbau treiben die Erderwärmung an und immer wieder sorgen erschreckende Zustände in der Tierhaltung für Schlagzeilen – dies sind nur drei Aspekte, die die Diskussion um die Zukunft der Landwirtschaft befeuern.

Jochen Hartmann wollte nicht nur diskutieren, sondern etwas tun. Er bewarb sich beim Projekt F.R.A.N.Z. (Für Ressourcen, Agrarwirtschaft & Naturschutz mit Zukunft), zu dem sich von Ministerien über Wissenschaftler und Umweltschutzorganisationen bis zum Bauernverband viele Initiatoren zusammengeschlossen haben. Landwirt Hartmann mit seinem Hof nahe Lüneburg wurde ausgewählt und bald darauf am Küchentisch beraten. „Bei der Idee mit dem Blühstreifen habe ich kurz gezögert“, erzählt er, „aber dann zugestimmt.“ Die fehlenden Erträge gleichen die Landwirtschaftliche Rentenbank und das Bundesamt für Naturschutz aus. Heute ist Jochen Hartmann stolz auf den Streifen: Verschiedenste Insekten sind dort zu Hause, Feldlerche und Feldhase finden Schutz, die Vielfalt kehrt zurück.

„Solche Maßnahmen sind dringend nötig“, sagt Josef Settele vom Helmholtz-Zentrum für Umweltforschung – UFZ in Halle. Biodiversität und funktionierende Ökosysteme seien grundlegend für die Nahrungsmittelversorgung. „Das beginnt bei Bestäubern, ohne die es keine Früchte gibt, und geht bis zu Lebewesen, die Schädlinge fressen oder den Boden locker und fruchtbar halten.“ Bezogen auf Deutschland sorgt er sich besonders ums Grünland – der Begriff umfasst Wiesen im weitesten Sinne. Seit 1991 sind mehr als 600.000 Hektar umgebrochen worden, meist zu Ackerland, das sind mehr als zehn Prozent. „Die verbleiben-



den Flächen werden oft intensiver bewirtschaftet“, sagt Josef Settele. Es werde häufiger gemäht, was Bodenbrütern wie dem Kiebitz zum Verhängnis wird, und es werde mehr gedüngt, sodass sich nur wenige schnell wachsende Gräser durchsetzen. Die einst bunten Wiesen seien verarmt, kaum ein Schmetterling sei noch zu sehen. „Wir stellen überall Artenverlust fest, aber beim Grünland gehen die Kennzahlen so deutlich nach unten wie bei keinem anderen Lebensraum“, sagt der Agrarbiologe.

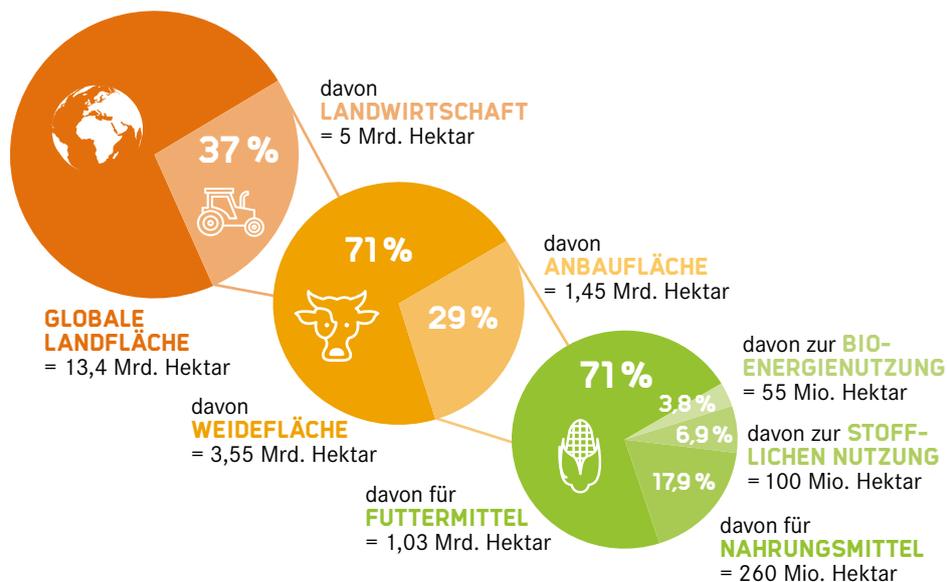
Eine komplette Umstellung auf Biolandbau, der ohne Pestizide und mineralische Dünger arbeitet, ist seiner Meinung nach aber keine unmittelbare Lösung. „Für die Biodiversität, für Böden und Gewässer ist er vorteilhaft, aber wir brauchen eine Umstellungsphase, bei der die Landwirte mitgenommen werden.“ Angesichts der rapide →

#### Allseits lohnend

Jochen Hartmann erklärt, wie Blühstreifen und Rückzugsinseln für Vögel mitten auf dem Acker für mehr Artenvielfalt sowie nachhaltige und hohe Erträge sorgen.

Bild: Hof Hartmann

## LANDNUTZUNG WELTWEIT



Quelle: Umweltbundesamt „Globale Landflächen und Biomasse nachhaltig und ressourcenschonend nutzen“ (2013) und European Bioplastics (2019)

Bild: Pixabay/Michael Strobel



Bild: Universität Hohenheim/Jan Winkler



**Bedarfsgerecht** Schweine fühlen sich wohler, wenn sie in der Erde wühlen können. Das natürliche Kratzbedürfnis von Rindern hingegen kann mit sensorgesteuerten, rotierenden Bürsten gestillt werden.

wachsenden Weltbevölkerung sei es wichtig, Ertragsstabilität zu erhalten, was zunächst konventionelle Erzeugung unbedingt erforderlich macht. Diese sollte aber auf mehr Nachhaltigkeit ausgerichtet werden, sagt Josef Settele.

Besonders leidenschaftlich wird die Frage „bio“ oder „konventionell“ bei der Tierhaltung diskutiert. Hier die glücklichen Kühe auf der Weide, dort die geschundenen Hochleistungsrinder im Großstall, so das verbreitete Stereotyp. „Die Wirklichkeit sieht oft anders aus“, sagt Eva Gallmann vom Fachgebiet für Tierhaltungssysteme an der Universität Hohenheim. „Da gibt es durch-

aus noch Anbindehaltung in Biobetrieben, wo die Kühe nicht durch den Stall laufen können, und in Großanlagen haben Rinder verhältnismäßig mehr Platz zum Laufen und rotierende Bürsten, um sich zu reinigen oder abzulenken.“ Wo sich die Tiere wohler fühlten, sei nicht klar zu beurteilen, sagt die Expertin: „Entscheidend sind die Menschen – ob sie zum Beispiel rasch erkennen, wenn es einem Tier nicht gut geht, und dann handeln.“

Eva Gallmann zufolge lässt sich auch in der konventionellen Haltung mit wenig Aufwand viel für das Tierwohl erreichen. „Bei Schweinen kann man mit etwas Erde dem natürlichen Wühlbedürfnis nachkommen oder Ruheazonen schaffen, wo sich die Tiere aneinanderkuscheln können.“ Auch ein Auslauf sei sinnvoll. Maßgeblich ist aber nicht nur die Haltungsform, sondern auch die Züchtung: Laut Milchindustrieverband gibt jede Kuh in Deutschland durchschnittlich 8.059 Kilogramm Milch im Jahr – das ist fast doppelt so viel wie 1984. „Hochleistungskühe haben aber oft Stoffwechselprobleme oder schmerzende Beine“, sagt Eva Gallmann. Das ändere sich allerdings allmählich: Heute werde in der Zucht wieder mehr auf die körperliche Fitness der Tiere geachtet.

Etliche Landwirte verzichten bewusst auf „Turbokühe“ und setzen auf eine schonende Tierhaltung. Doch ausgerechnet die ist fürs Klima schlechter als eine leistungsorientierte. „Wenn man sich die erzeugten Mengen an Milch oder Fleisch anschaut, ist die intensive Haltung weniger klimaschädlich“, sagt Klaus Butterbach-Bahl vom Karlsruher Institut für Technologie (KIT). Manche Rinder in Entwicklungsländern hätten eine deutlich schlechtere Bilanz an Treibhausgasen als ihre Artgenossen in den Großställen der westlichen Welt: Sie brauchen wegen knapper Nahrung viel

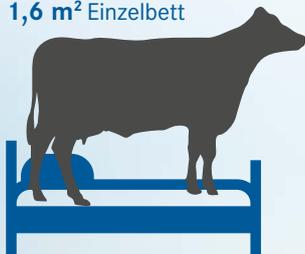
### BEDEUTUNG DER FREIWILLIGEN KENNZEICHNUNG „HALTUNGSFORM“ AUF FLEISCHVERPACKUNGEN

	1 STALLHALTUNG	2 STALLHALTUNG PLUS	3 AUBENKLIMA	4 PREMIUM
HÄHNCHEN*	0,04 m <sup>2</sup>	0,05 m <sup>2</sup>	0,06 m <sup>2</sup>	0,08 m <sup>2</sup>
SCHWEIN	0,75 m <sup>2</sup>	0,83 m <sup>2</sup>	1,05 m <sup>2</sup>	1,50 m <sup>2</sup>
RIND	1,50 m <sup>2</sup>	3,00 m <sup>2</sup>	4,00 m <sup>2</sup>	5,00 m <sup>2</sup>

■ kein Auslauf ■ mit Auslauf

\* Berechnung der Fläche pro Hähnchen: Hähnchengewicht = 1,6 kg  
Maximalgewicht pro Quadratmeter entspricht: 1: 39 kg/m<sup>2</sup>, 2: 35 kg/m<sup>2</sup>, 3: 25 kg/m<sup>2</sup>, 4: 21 kg/m<sup>2</sup>

1,6 m<sup>2</sup> Einzelbett



Quelle: Haltungsform.de und Orange by Handelsblatt



„Ideal wäre es, sinnvolle Ansätze von „bio“ und „konventionell“ zu vereinen. So ist eine Landwirtschaft möglich, die mit der Umwelt vereinbar ist und trotzdem hohe und sichere Erträge bringt.“

länger, um zu wachsen oder eine bestimmte Menge Milch zu geben; dennoch stoßen sie zeitlebens Methan aus. „Das heißt nicht, dass ich Intensivhaltung super finde, aber diesen Zusammenhang sollte man kennen“, sagt der Biologe.

In Deutschland kommen rund sieben Prozent der Treibhausgasemissionen aus der Landwirtschaft, rund die Hälfte davon aus der Tierhaltung. Maßgeblich ist dabei Methan, das unter anderem aus der Verdauung von Wiederkäuern wie Rindern und Schafen stammt. „Wer etwas fürs Klima tun will, sollte den Fleischkonsum deutlich reduzieren und möglichst auf Wiederkäuer verzichten und Schwein oder Geflügel wählen“, sagt Klaus Butterbach-Bahl.

Das zweite Problem neben Methan ist Stickstoff, der über Dünger auf die Felder kommt. Anstelle einer massiven Düngung im Frühjahr, wo noch kaum Pflanzen da sind, empfiehlt der KIT-Forscher, zwei- bis viermal pro Jahr aufs Feld zu fahren und den realen Bedarf zu decken. „Hinzu kommt: Ein Feld ist nicht homogen, über wenige Meter kann sich der Nährstoffgehalt im Boden ändern“, ergänzt er. „Mit Precision Farming, das Daten zur Pflanzengesundheit von Drohnen oder Satelliten nutzt, kann der Landwirt auf den Meter genau passend düngen oder Pflanzenschutzmittel ausbringen – da ist noch großes Potenzial.“ Hoffnung setzen Forscher auch auf moderne Züchtungsverfahren, die auf der Gensche CRISPR/Cas9 basieren. Mit ihnen können Gene gezielt

ein- oder ausgeschaltet oder ins Erbgut eingefügt werden. „Die Methode ist preiswert und bereits bei gut 100 Pflanzen zum Einsatz gekommen, etwa bei Bananen, Maniok oder Kartoffeln“, sagt Martin Qaim, Agrarökonom an der Universität Göttingen. Kartoffeln etwa ließen sich so verändern, dass sie gegen Kraut- und Knollenfäule gewappnet seien – Probleme, denen Landwirte üblicherweise mit großen Mengen an Fungiziden begegnen. „So kann Pflanzengentechnik helfen, den Pestizideinsatz zu verringern, und zur Biodiversität beitragen.“

Dass die Gentechnik umstritten ist, weiß Martin Qaim nur zu gut. „Wir können hier in Europa auch ohne die Technologie wirtschaften und werden satt“, sagt er. „Aber in ärmeren Ländern könnte die Gentechnik vor allem bei fortschreitendem Klimawandel zur Bekämpfung von Hunger und Mangelernährung beitragen.“

Landwirt Jochen Hartmann schließt Gentechnik nicht kategorisch aus, setzt zunächst jedoch auf Methoden, die er kennt und selbst gestalten kann – unabhängig davon, ob sie „bio“ oder „konventionell“ sind. „Dieser Streit bringt nichts“, sagt er. „Ideal wäre es, sinnvolle Ansätze von beiden zu vereinen.“ Kreislaufwirtschaft, Maßnahmen für mehr Biodiversität und Bodenfruchtbarkeit, wenig Pestizide. „Dann ist eine Landwirtschaft möglich, die mit der Umwelt vereinbar ist und trotzdem hohe und sichere Erträge bringt.“

**Ralf Nestler**

**Präzise** Mit computer-gestützten Landmaschinen und Drohnen beobachten Landwirte den Zustand ihrer Pflanzen und können so beispielsweise bei Schädlingen gezielt eingreifen. Bild: Pixabay/ Herney Gómez

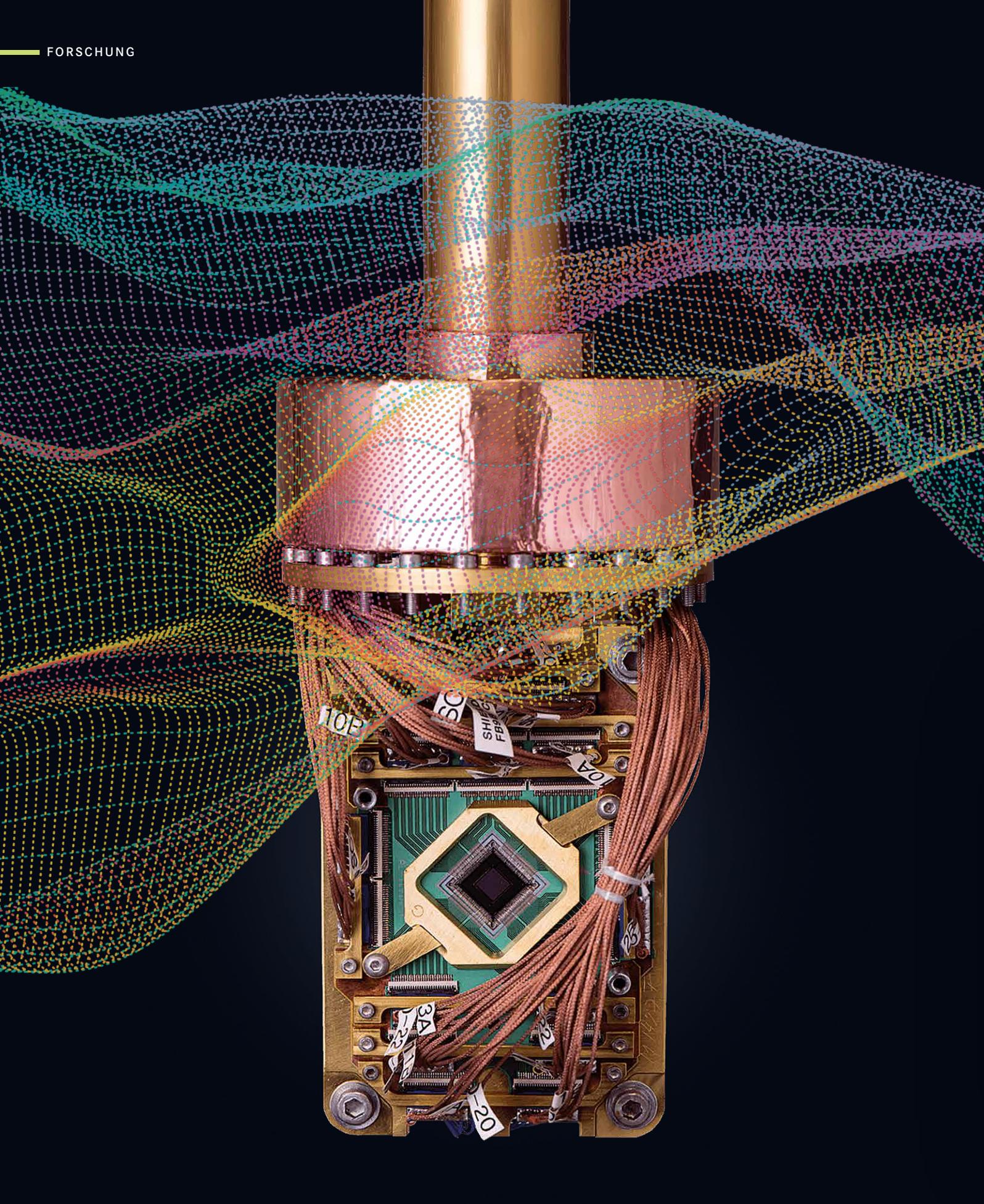


**ONLINE**

Hier gibt es ein Interview mit Ulrich Schurr vom FZ Jülich über Bioökonomie und nachhaltiges Wirtschaften:

→ [www.helmholtz.de/biooekonomie](http://www.helmholtz.de/biooekonomie)





# AUFBRUCH ZU EINER NEUEN WELT

Die Quantenphysik ist einer der komplexesten Bereiche der Physik – und einer der vielversprechendsten: Forscher arbeiten an unterschiedlichen Technologien, die auf Quanten basieren. Sie könnten von der Medizin bis zur Materialforschung die Wissenschaft revolutionieren.

**D**ie Liste der erhofften Wunder ist lang: ein Sensor, der Grundwasser vom Orbit aus aufspürt. Eine Kappe, die Gedanken liest. Ein Computer, der eine Aufgabe binnen Minuten löst, für die selbst die größten Superrechner Jahrzehnte bräuchten. Das alles soll künftig dank der Quantentechnologie möglich werden. Sie hat das Zeug dazu, den Alltag umzuwälzen, da sind sich Experten einig. Das menschliche Vorstellungsvermögen gerät schnell an seine Grenzen, wenn es um Effekte aus der Quantenphysik geht (siehe Kasten). Und doch: Physiker können in ihren Labors einzelne Atome, Elektronen oder Lichtteilchen so präzise kontrollieren, dass darauf superschnelle Rechner, extrem präzise Sensoren und sichere Kommunikationswege aufgebaut werden können. Das ehrgeizigste Ziel ist der Quantencomputer. Er soll alles können, was ein normaler Rechner kann – nur sehr viel schneller. Seine Stärke erwächst aus dem „Qubit“. Heutige Computer

nutzen als kleinste Recheneinheit das sogenannte Bit. Dieses kann jeweils nur den Wert 0 und 1 haben. Das Qubit hingegen nutzt die sogenannte Superposition und rechnet mit beiden Werten simultan. Mit jedem weiteren Qubit verdoppelt sich die Zahl der parallel verarbeitbaren Daten. Mit ein paar Hundert Qubits ist diese Zahl schon größer als die Anzahl der Atome im Universum. Dass die Wundermaschine wirklich fix rechnet, bewies Google im vergangenen Jahr. Sein Quantenchip löste eine Aufgabe in wenigen Minuten, für die ein Superrechner Jahrtausende gebraucht hätte – und das mit nur 53 Qubits. Einen praktischen Nutzen hatte die Rechenaufgabe zwar nicht, aber das soll sich ändern: Denkbare Einsatzgebiete für künftige Quantenrechner liegen zum Beispiel darin, optimale Lösungen in einem Heuhaufen an Möglichkeiten zu finden oder neue Algorithmen in der künstlichen Intelligenz zu ermöglichen, die viel schneller lernen. Am Forschungszentrum →

## HELMHOLTZ QUANTUM



### ONLINE

Interviews, Porträts  
und weitere Infos zum  
Thema Quanten-  
technologien:

→ [www.helmholtz.de/  
quantum](http://www.helmholtz.de/quantum)



Jülich entsteht derzeit ein Computer im Rahmen des Projekts OpenSuperQ – der erste dieser Art in Europa. Das Besondere: Seine Architektur wird gänzlich offengelegt und zugänglich sein, sodass die gesamte Forschungsgemeinschaft an seiner Entwicklung teilhaben und den Rechner nutzen kann. Seine Entwicklung wird durch die europäische Mammutinitiative „Quantum-Flagship“ gefördert. Sie soll mit mehr als einer Milliarde Euro über zehn Jahre hinweg die Entwicklung von Produkten fördern, die auf den Regeln der exotischen Quantenwelt beruhen. Rund 5.000 Forscher aus Wissenschaft und Industrie sind an den ersten 20 ausgewählten Projekten beteiligt. Das Ziel: Europas Wissenschaftlern und Unternehmen beim internationalen Wettlauf rund um Quantentechnologien eine gute Ausgangsposition zu verschaffen. „In der EU verfügen wir über eine hohe wissenschaftliche Exzellenz in der Quantentechnologie“, sagt Tommaso Calarco, der Mitinitiator des Flagship-Projekts. „Das Flaggschiff soll helfen, dass wir zusammen mit der Industrie dieses Potenzial in kommerzielle Produkte überführen. Sonst laufen wir Gefahr, dass Erkenntnisse, die in Europa initiiert worden sind, außerhalb des Kontinents zu marktreifen Anwendungen weiterentwickelt werden“, erklärt der Jülicher Physiker.

**„Wir brauchen noch einige Jahre,  
bis wir mit dieser Maschine einen  
Quantenvorteil erlangen können.“**

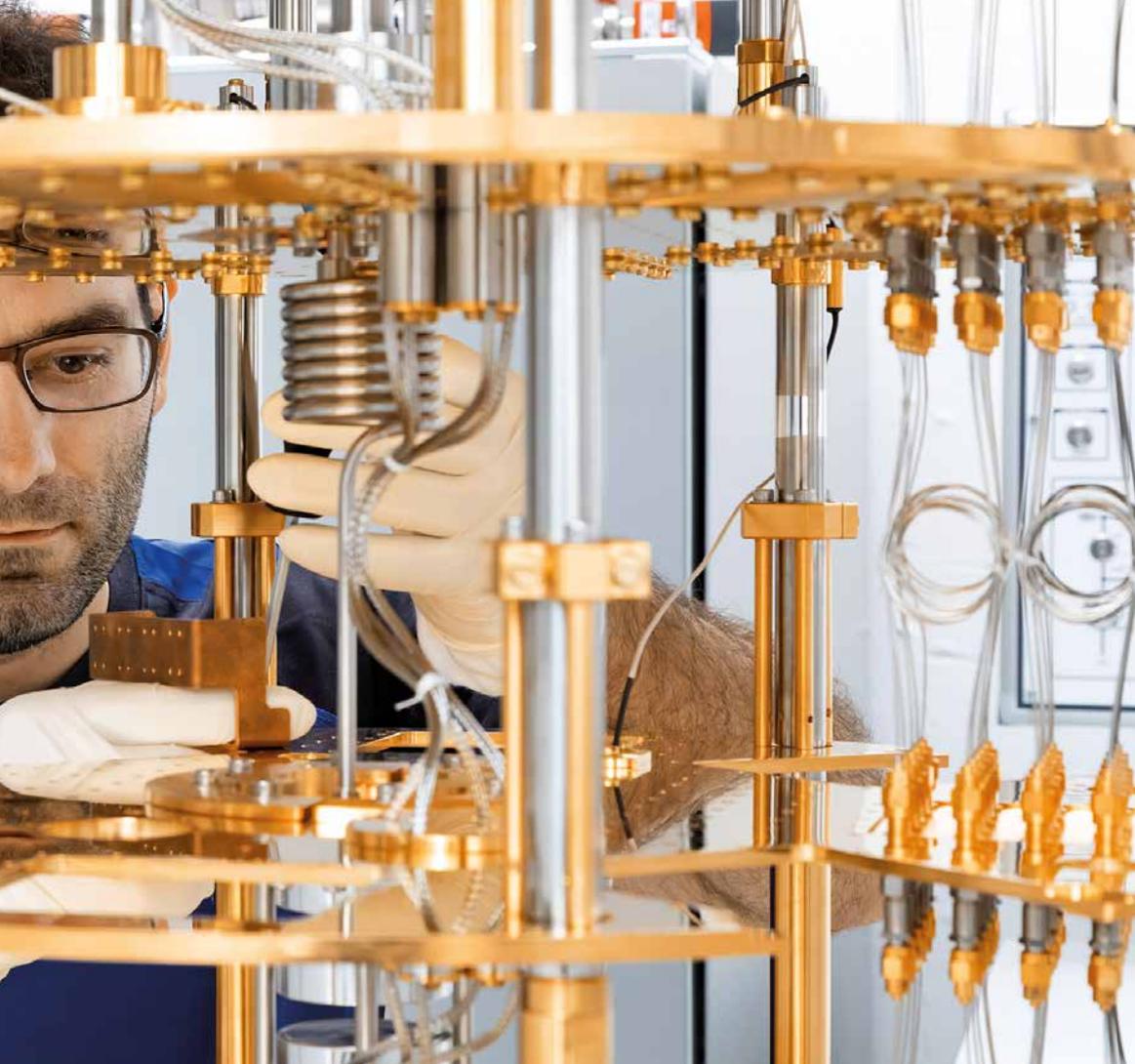
Ebenfalls maßgeblich an dem Flaggschiff beteiligt ist sein Kollege David DiVincenzo. „Wir testen gerade einen sehr einfachen Quantenchip mit zwei Qubits“, sagt der Direktor des Bereichs Theoretische Nanoelektronik des Peter Grünberg Instituts



am FZ Jülich. Warum nur zwei Qubits, wenn der Google-Rechner schon bei 53 ist? Europa will sich die Technologie selbst erarbeiten und muss daher bei null anfangen, will aber schnell aufholen. Ein zusätzlicher Chip mit sieben Qubits soll bald eingebaut werden. Weitere werden folgen. „Wir brauchen noch einige Jahre, bis wir mit dieser Maschine einen Quantenvorteil erlangen können“, sagt David DiVincenzo. Mit „Quantenvorteil“ meint

## WAS SIND QUANTEN?

**Q**uanten sind allgegenwärtig. Beim Lesen dieses Textes beispielsweise führen Lichtquanten (Photonen), die in Ihr Auge gelangen, dazu, dass Sie diesen Text wahrnehmen können. Die Bezeichnung Quanten wird allgemein für Elementarteilchen benutzt, also nicht mehr weiter teilbare Teilchen. Eines haben alle Quanten gemeinsam, daher auch ihr Name: Ihr Zustand ist quantisiert, das heißt, sie treten nur in bestimmten, fest definierten Größen und Energieniveaus auf. So bezeichnet beispielsweise der berühmte **Quantensprung** den Wechsel eines Quants von seinem vorherigen Zustand in den nächsthöheren oder -niedrigeren. Die Quantenphysik beschreibt das Verhalten dieser Teilchen. Dieses Gebiet ist dermaßen komplex, dass es nur fachlich vorgebildete Menschen durchdringen –



**Blick ins Innere** Der Jülicher Physiker Markus Jerger bereitet die Verkabelung zur Messung des quantenmechanischen Zustands der Qubits vor.  
Bild: FZ Jülich/Ralf-Uwe Limbach



er erste nutzbringende Anwendungen – konkret: Mit rund 100 Qubits wollen die Forscher mit OpenSuperQ vor allem chemische Verbindungen und deren Reaktionen simulieren – und zwar rascher und genauer als jeder Supercomputer. Industrieunternehmen wie Merck oder BASF sondieren schon, wie sie mit Quantenrechnern schneller neue Wirkstoffe oder bessere Materialien, etwa mit höherer Festigkeit, entwickeln

können. Die Qubits allerdings lassen sich nicht gut bändigen. Das Hauptproblem für die Wissenschaftler: Nach Sekundenbruchteilen verlieren Qubits ihre Fähigkeit, Werte simultan zu speichern. Denn Quanten sind sehr empfindlich und können leicht gestört werden, sodass die Superposition zusammenbricht und Rechenfehler passieren. Deswegen müssen die Qubits in großen Kühlapparaten so gut wie möglich von der Außenwelt abgeschirmt und →

vor allem deshalb, weil es dem Menschenverstand und den Erfahrungen komplett zuwiderläuft. So kann man Quanten weder eine genaue Position noch eine genaue Bewegungsrichtung zuordnen. Keine ihrer Eigenschaften ist exakt vorherberechenbar. Ein Elektron beispielsweise kann sich zugleich im und gegen den Uhrzeigersinn um die eigene Achse drehen. Erst wenn man es misst, also beobachtet, nimmt es eine feste Position und konkrete Eigenschaften an – so als wüsste es, dass es beobachtet wird. Zum Verständnis hilft hier das berühmte Gedankenexperiment „Schrödingers Katze“: Man stelle sich eine Katze in einer verschlossenen, blickdichten Kiste vor. In der Kiste befindet sich eine Mordapparatur, die rein zufällig vom Zerfall eines radioaktiven Atoms gesteuert wird. Wann ist also die Katze

noch lebendig, wann tot? Diese Frage entscheidet sich erst, sobald ein Beobachter die Kiste öffnet. Bis dahin ist die Katze beides: tot und lebendig.

Nach der Quantenphysik kann sich ein Teilchen in unglaublich vielen unterschiedlichen Zuständen befinden. Das geht sogar so weit, dass es sich an zwei Orten gleichzeitig aufhalten kann. Das Phänomen nennt sich **Superposition** und ist zentral für die Quantentechnologie. So zum Beispiel beim **Quantencomputer**: Bei einem herkömmlichen Rechner können Bits genau einen von →





## ONLINE

„In den nächsten 20 Jahren wird der Quantencomputer Realität“ – Interview mit Wolfgang Marquardt vom FZ Jülich:

→ [www.helmholtz.de/quantencomputer](http://www.helmholtz.de/quantencomputer)



stabilisiert werden. Doch das ist aufwendig und gelingt nur begrenzt. Wenn die Qubits stabiler wären, ließen sie sich zu Zehntausenden verknüpfen, so die Hoffnung der Forscher. Und das ist die Zahl von Qubits, die nach Expertenschätzung für einen „richtigen“, universell einsetzbaren Quantencomputer nötig sein wird.

An dieser Stelle setzt Kristel Michielsen am Jülicher Supercomputing Centre an. Der dortige Supercomputer simuliert Quantencomputer. „Wir ahmen eine ideale Maschine nach und vergleichen die Resultate mit der echten“, sagt die Physikerin. Die Jülicher Forscher simulierten auch Googles Quantenchip, um die Ergebnisse zu verifizieren und die Leistung des Quantencomputers zu bestimmen. Die Rechenspiele dienen nicht zuletzt der Forschung am Quantencomputer. „Wir können damit besser verstehen, was die Qubits tun“, sagt Kristel Michielsen – ein wichtiger Schritt auf dem Weg zu stabileren Qubits. Ihre Hoffnung richten Forscher zudem auf neue Materialien für Qubits. Fast jedes Objekt, das den Regeln der Quantenphysik gehorcht, kommt infrage. Bewährt haben sich bereits Supraleiter, in denen Strom gleichzeitig in zwei Richtungen fließt (wie im Jülicher OpenSuperQ), und Ionen, die zwei Energieniveaus simultan einnehmen. In Zukunft können es aber auch unsichtbare, winzige Magnete sein, deren Nordpol simultan nach oben und unten zeigt, wie sie der Quantenforscher Wolfgang Wernsdorfer am Karlsruher Institut für Technologie (KIT) erforscht. Die Kerne von Atomen sind solche Magnete. „Durch die Elektronenhülle werden sie gut von der Umwelt abgeschirmt“, so Wolfgang Wernsdorfer. „Allerdings erzeugen diese Magnete sehr schwache Signale, die sich schwer auslesen lassen“, sagt der Physiker, der am KIT

eine Humboldt-Professur innehat. Er entwickelt eine Art Verstärker dafür: Mit seinen Kollegen legt er das magnetische Qubit in ein tellerförmiges Molekül, in dem es einen messbaren Strom hervorruft. Sehr viele davon mit einem Verstärker zu versehen, sehen die Karlsruher Forscher als ihre Herausforderung. Der Vorteil solcher Qubits sei ihre Winzigkeit, sagt Wolfgang Wernsdorfer. Millionen davon ließen sich auf kleinstem Raum konzentrieren.

Dass Qubits solche Mimosen sind, lässt sich auch nutzen: für besonders empfindliche, genaue und miniaturisierte Sensoren – ein weiteres Ziel der Quantentechnologie. Wegen ihrer geringen Größe können Atome an unzugänglichen Orten eingesetzt werden, selbst im Körperinneren. Dort könnten spezielle Sensoren, die auf der Quantentechnologie basieren, genutzt werden, um beispielsweise Tumore zu kartieren. Der große Vorteil: Alle Teilchen einer Art sind identisch und reagieren auf gleiche Reize gleich. Ein „Quantensensor“ spart daher die regelmäßige Eichung, die Natur justiert ihn.

„Man könnte sogar Gehirnströme genau genug messen, um Computer per Gedanken zu steuern.“

Arne Wickenbrock vom Helmholtz-Institut Mainz nutzt Stickstoffatome als Sensoren, die in einen Diamanten eingebettet sind. Das Atom verhält sich wie eine Kompassnadel, die auf winzige Magnetfelder reagiert. „Bezogen auf sein Volumen hat dieser Sensor die weltweit größte Empfindlichkeit“, sagt der Physiker. Die Hülle aus Diamant schirmt ihn gegen störende Umwelteinflüsse ab, sodass er

zwei möglichen Zuständen einnehmen: entweder 0 oder 1. Ein Quantencomputer kann sich gleichzeitig in beiden Zuständen befinden; er kann mit zwei Qubits also nicht nur zwei, sondern zwei mal zwei verschiedene Zustände haben. Bei 50 Qubits sind dies schon mehr als eine Billion Zustände. Dementsprechend viele Rechnungen können durchgeführt werden.

Eine weitere Regel der Quantenphysik ist der **Welle-Teilchen-Dualismus**. Denn Quanten führen quasi ein Doppelleben: Mal verhalten sie sich wie Teilchen, mal wie eine Welle – je nach Art der Messung, die man an ihnen durchführt. Anschaulich wird dies mit diesem Experiment: Lässt man beispielsweise ein einzelnes Elektron auf eine Wand mit zwei Schlitzen zufliegen, sollte es sich nach der

klassischen Physik entweder nur hinter dem linken oder nur hinter dem rechten Schlitz nachweisen lassen. Doch tatsächlich bildet sich ein Interferenzmuster, als wären Wellen auf die Schlitze getroffen, die sich durch Überlagerung schwächen oder verstärken, sodass sich das Interferenzmuster ergibt. Diese mysteriöse Eigenschaft von Quanten lässt sich ebenfalls für verschiedene Bereiche nutzbar machen: beispielsweise für präzise Navigationsgeräte, die ohne Satelliten auskommen. ◆

auch im menschlichen Körper funktionieren würde. „Man könnte sogar Gehirnströme genau genug messen, um Computer per Gedanken zu steuern“, nennt Arne Wickenbrock eine weitere Vision. Und: Weil sich die Orientierung der atomaren Kompassnadel präzise bestimmen lässt, will sein Forscherteam damit millimetergenaue Navigationsgeräte ermöglichen. Sie könnten beispielsweise autonome Autos auch dann in der Spur halten, wenn der Kontakt zum Satelliten abreißt – im Tunnel etwa. Den Gipfel an Präzision erreichen Quantensensoren wohl bei der Messung der Schwerkraft.

**„Wir entwickeln einen gravimetrischen Quantensensor, der zehnmals genauer ist als die besten derzeit verfügbaren Sensoren.“**

Atome als Gravitationssensoren sind empfindlich genug, um selbst aus dem All eine Veränderung des Grundwasserspiegels zu erkennen, davon sind Wissenschaftler überzeugt. Der Sensor arbeitet mit der Wellennatur, die Atome gemäß Quantenphysik haben. Die Wellenlänge der Teilchen ist 10.000-mal kleiner als die von Licht. Die Welle wirkt, grob gesagt, wie ein äußerst feiner Zollstock, mit dem sich die Länge des Weges bestimmen lässt, den ein Atom nimmt. Feinste Unterschiede in der Schwerkraft ändern die Weglänge, die frei fallende Atome in einer bestimmten Zeit zurücklegen. So lassen sich minimale Unterschiede in der Gravitation bestimmen.

„Wir entwickeln einen gravimetrischen Quantensensor, der zehnmals genauer ist als die besten derzeit verfügbaren Sensoren“, sagt Wolfgang Ertmer vom Institut für Satellitengeodäsie und Inertialsensorik des Deutschen Zentrums für Luft- und Raumfahrt (DLR). Rein rechnerisch könnte man damit die Schwerkraft, die von einem menschlichen Körper ausgeht, noch in einem Kilometer Abstand messen. Diese Präzision bietet faszinierende Möglichkeiten, so der Physiker, etwa die Untersuchung des Innern des Planeten Mars. Denn unterschiedliche Materialien unter der Planetenoberfläche wirken sich auf die örtliche Schwerkraft aus. Noch interessanter aber findet er die Chance, offene Rätsel der Physik zu lösen, etwa ob die Gesetze der Schwerkraft für äußerst kleine Massen noch gelten. Dieses Wissen könnte dabei helfen, eine Lücke zu schließen, die schon lange im physikalischen Weltbild klappt: Bislang gelang es nicht, Quantenphysik und Einsteins Theorie der Gravitation zu vereinen. Wenn zwei

Modelle unter einen Hut kommen, ergeben sich oft ganz neue Einsichten. Somit könnte die Quantentechnologie nicht nur den Alltag verändern, sondern auch das Weltbild. ◆

**Christian Meier**



**Noch präziser** Das in Hannover entwickelte transportable Quanten-Gravimeter QG1 hebt sich deutlich von klassischen Gravimetern durch höhere Langzeitstabilität und höhere Messgenauigkeit ab. Bild: Institut für Quantenoptik, Leibniz Universität Hannover

# EU: Wie marktnah sollen Forscher arbeiten?

Horizon Europe – so heißt das nächste EU-Rahmenprogramm für Forschung und Innovation, das 2021 startet und Fördergelder in Milliardenhöhe bietet. Geförderte EU-Projekte sollen vor allem marktreife Ergebnisse im Blick haben. Schon seit Jahren drängt die EU bei Projekten in Richtung Anwendungsnähe statt Grundlagenforschung. Doch ist das die richtige Strategie? Woher kommen die neuen Ideen für übermorgen? Zwei Blickwinkel.



Peter Dröll ist Direktor für den Bereich „Wohlfahrt“ in der Generaldirektion Forschung und Innovation der Europäischen Kommission.

„Die Forschung in Europa hat ein gewaltiges Potenzial, und es liegt im Interesse von uns allen, es besser zu nutzen.“

**G**leich vorweg: Es geht hier nicht um die Frage der Forschungsfreiheit. Sie ist ein hohes Gut, das wir alle schützen wollen und ständig verteidigen müssen. Klar ist auch, dass jeder Forscher einen Beitrag für die Allgemeinheit leisten will und dass die Zusammenarbeit zwischen Wissenschaft und Wirtschaft für beide Seiten gut ist – gemessen daran, wie viele Veröffentlichungen daraus resultieren und wie viel Innovationskraft und Wirtschaftsleistung aus der Zusammenarbeit entsteht.

Für mich steht außer Frage: Die Forschung in Europa hat ein gewaltiges Potenzial, und es liegt im Interesse von uns allen, es besser zu nutzen. Das wird allein beim Blick auf die Zahlen deutlich; so kommt ein Drittel der wissenschaftlichen Veröffentlichungen aus Europa – aber nur ein Fünftel der Patente.

Was treibt uns aber bei dieser Frage um, warum polarisiert sie? Geht es darum, Mittel für den „eigenen“ Bereich zu sichern – Grundlagen anstatt Marktnähe zu fördern? Ich halte diese Polarisierung nicht für zielführend: Es geht um das Gesamtvolumen der Forschungsinvestitionen. Aus vielen Gesprächen mit Forschern schließe ich, dass der Kern der Bedenken in der „B-Frage“ liegt: Bürokratie gegen Forschung. Das Abfragen von mögli-

chen Anwendungsfeldern schon bei der Projektantragstellung, die Pflicht zur Vorlage von Plänen zur Markteinführung wird von Forschenden als der „wirklichen“ Aufgabe abträglich empfunden.

Zusätzlicher Aufwand und Kosten entstehen dabei sicher. Aber die Kosten, diese Erwägungen nicht von Anfang an in ein europäisches Verbundprojekt einzubringen (Projekte mit einer Dauer von vier Jahren, einem durchschnittlichen Budget von sechs Millionen Euro und zwölf Partnern) wären viel höher. Wollen wir es uns wirklich leisten, Erkenntnisgewinn in Europa öffentlich zu finanzieren ohne Blick darauf, wer daraus Gewinn für die Öffentlichkeit zieht? Und wie viel kostet es wirklich, sich bei der Erarbeitung der Forschungsfrage und der Konzeptentwicklung zu fragen, um welchen Teil des Ganzen es geht? Ob es sinnvoll wäre, andere Forschungsdisziplinen, zum Beispiel aus dem weiten Feld der Geistes- und Sozialwissenschaften, einzubeziehen? Welche Bedeutung die erstrebten Ergebnisse für wen in der Gesellschaft haben könnten? Ob geistiges Eigentum entsteht, das besser geschützt wird, und ob Institute für Normung mitmachen sollten?

Meine Antwort ist klar: EU – Forschungsfreiheit und Nähe zu Menschen immer, Marktnähe so weit wie möglich. ◆



„Horizon Europe sollte ganzheitlich motivierte Forschung fördern, dabei jedoch zukünftige Szenarien betonen, anstatt unmittelbare Marktreife zu fordern.“



Björn Nagel ist Gründungsdirektor des Instituts für Systemarchitekturen in der Luftfahrt am Deutschen Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR).

Die Luftfahrtforschung ist durch starke interdisziplinäre Wechselwirkungen charakterisiert. Insbesondere das Erforschen von Schlüsseltechnologien erfordert daher die Betrachtung des Systems mit seinen Wechselwirkungen und realistischen Randbedingungen. Nur so lässt sich bewerten, inwieweit die erforschten Technologien einen Beitrag dazu leisten, die teilweise widersprüchlichen gesellschaftlichen Herausforderungen zu lösen – etwa kostengünstige Mobilität bereitzustellen und zugleich Umweltwirkungen zu vermeiden.

Das Rahmenprogramm der EU bietet einzigartige Möglichkeiten, die für diese systemische Forschung notwendige Expertise aus Industrie und Forschung zusammenzubringen. Vielfältige Herangehensweisen und Perspektiven der Partner begünstigen innovative Lösungen. Außerdem ermöglicht es dieser große Rahmen, mehrere Technologien in Kombination miteinander zu erforschen und synergetische Lösungen auf Ebene des Gesamtsystems zu entwickeln. Anwendungs- und marktnahe Betrachtungen können dabei ganz grundlegende Forschung erfordern und stehen mit dieser nicht im Widerspruch.

Wichtig ist es aber, die unterschiedlichen Zeitrahmen im Blick zu behalten: Im Gegensatz zur

Entwicklung soll die Forschung neue Technologien nicht für morgen, sondern für übermorgen liefern. Dieser lange Zeithorizont der Forschung ist nur bedingt kompatibel mit der industriellen Planung, die, getrieben durch die Entwicklungen des Marktes, relativ kurzfristigen Änderungen unterworfen sein kann. Horizon Europe sollte dem Rechnung tragen und ganzheitlich motivierte Forschung fördern, dabei jedoch zukünftige Szenarien betonen, anstatt unmittelbare Marktreife zu fordern.

Und noch einen Aspekt halte ich für wichtig: Das in der öffentlich geförderten Forschung erarbeitete Wissen sollte nicht bei nur wenigen verbleiben, sondern möglichst öffentlich zugänglich gemacht werden; so, wie es die Open-Science-Strategie der EU fordert. Dadurch wird die Basis für innovative Produkte und Dienstleistungen gelegt – und damit auch für neue Geschäftsmodelle.

In Bezug auf Budgets und eigenständige Governance sollte die EU-Forschungsförderung ausbalanciert sein für beide Aspekte: zum einen große Experimente wie beispielsweise die Flugversuche im Clean-Sky-Programm der EU mit notwendiger Anwendungsnähe. Und zum anderen Grundlagenforschung und Zukunftsthemen wie die Verwendung von künstlicher Intelligenz in digitalen Entwurfsprozessen. ◆



**ONLINE**

Diskutieren Sie mit uns unter dem folgenden Link:

→ [www.helmholtz.de/blickwinkel](http://www.helmholtz.de/blickwinkel)



# Kleine Schadstoffresser

Stoffe, die dem Menschen gefährlich werden, sind für manche Mikroben ein gefundenes Fressen. Dank Jahrtausenden dauernder Anpassung halten sie sich strahlendes Uran vom Leib, verspeisen umstrittene Pestizide und leben von Desinfektionsmitteln. Jetzt wollen Wissenschaftler wissen, wie sie das bewerkstelligen.



**U**nter tonnenschwerem Gestein soll atomarer Müll für die Ewigkeit versiegelt werden. Viele Hundert Meter unter der Erdoberfläche. In Deutschland sind die Salzstöcke in Bad Zwischenahn, Gorleben oder Gülze-Sumte schon lange als Endlager für hoch radioaktive Abfälle im Gespräch. Aber auch Granitformationen und mächtige Tonschichten kommen dafür in Betracht. Doch was passiert, wenn undichte Behälter und ein Wassereinbruch zusammenkommen und die strahlende Fracht dadurch unkontrolliert freigesetzt wird?

Einen möglichen Ausweg aus diesem Szenario verspricht sich die Geoökologin Andrea Cherkouk von ungewöhnlichen Helfern: Mikroorganismen. Könnten sie mithelfen, den GAU in der Tiefe zu verhindern? „Wir haben uns gefragt, welche Mikroorganismen in Salzsichten natürlich vorkommen und wie diese mit Radionukliden wechselwirken“, erzählt Andrea Cherkouk, die am Institut für Ressourcenökologie des Helmholtz-Zentrums Dresden-Rossendorf (HZDR) die Nachwuchsgruppe MicroSalt leitete. So wie sie nehmen viele Wissenschaftler derzeit Mikroorganismen in den Blick: Sie könnten dabei helfen, unterschiedlichste Schadstoffe in der Natur unschädlich zu machen.

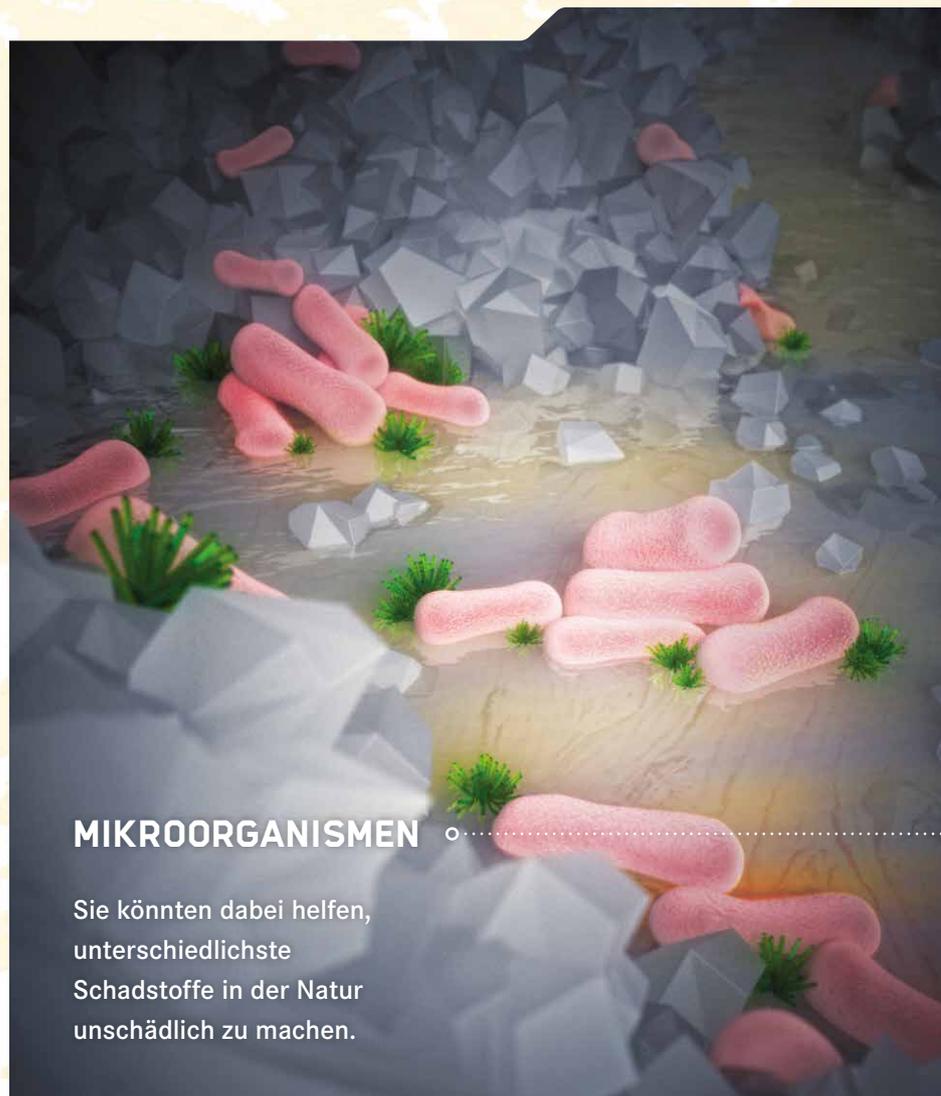
Andrea Cherkouk fand bei österreichischen Kollegen das erste Mosaiksteinchen für ihren Ansatz: Sie hatten Archaeen beschrieben – einzellige Lebewesen, die früher auch Urbakterien genannt wurden –, die in Salzsichten vorkommen, die jenen in Salzbergwerken sehr ähnlich sind. Andrea Cherkouk und ihre Kollegen beschafften sich Reinkulturen bei der Deutschen Sammlung für Mikroorganismen und Zellkulturen in Braunschweig. Die brachten sie im Labor dann mit den beiden radioaktiven und giftigen Schwermetallen Uran und Curium in Kontakt – mit verblüffendem Ergebnis: „Sobald die Zelle merkt, dass da ein potenziell gefährlicher Stoff ankommt, bindet sie diesen an Phosphat oder auch an Carbonat“, erklärt Andrea Cherkouk. „Es entstehen wasserunlösliche Minerale. Die werden dann nicht so einfach transportiert. Die Ausbreitung der strahlenden Fracht wird also aufgehalten.“ Die Erkenntnisse der Dresdner Forschergruppe sollen nun bei der Sicherheitsbewertung zukünftiger Endlagerstätten berücksichtigt werden.

Mikroorganismen wie Archaeen oder Bakterien sind die heimlichen Herrscher des Planeten. Schon lange bevor höheres Leben erblühte, besiedelten sie die Erde. Über Äonen hinweg hat die Evolution an ihnen gefeilt und sie dabei mit

den erstaunlichsten Fähigkeiten ausgestattet. Für Mikrobiologen ist dies eine Schatztruhe, in der sie unablässig nach Lösungen für dringende Probleme der Menschheit suchen. Zum Beispiel, wie sich Umweltschadstoffe auf natürliche Weise eindämmen oder sogar unschädlich machen lassen.

Denn es sind nicht nur radioaktive Schwermetalle, sondern beispielsweise auch Pestizide aus der Landwirtschaft, mit denen Mikroben umzugehen wissen. Wie genau sie das tun, untersucht Matthias Kästner. Der Professor für Mikrobiologie leitet das Department Umweltbiotechnologie am Helmholtz-Zentrum für Umweltforschung – UFZ. Seine Arbeitsgruppe beschäftigt sich unter anderem mit Glyphosat, einem Herbizid, das vor allem wegen seiner möglichen krebserregenden Wirkung einen Stammpplatz in den Medien innehat. →

**Natürlicher Prozess**  
Haloarchaeen (rosa) können radioaktive Schwermetalle in unlösliche Uranylphosphatminerale (grün) binden und so die Ausbreitung der Stoffe verhindern.  
Bild: HZDR/Juniks



## MIKROORGANISMEN

Sie könnten dabei helfen, unterschiedlichste Schadstoffe in der Natur unschädlich zu machen.

## PESTIZIDE UMWANDELN

„In der Natur bauen Mikroorganismen Glyphosat im Prinzip komplett zu Biomasse und Kohlendioxid ab. Damit sind die Rückstände toxikologisch unbedenklich.“

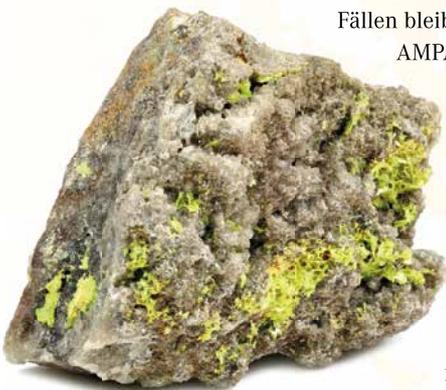
„Bevor neue Pestizide ihre Zulassung erhalten, muss ihr Umweltverhalten eingehend untersucht werden“, erklärt der Mikrobiologe und Biotechnologe. Um zu sehen, wie sich mögliche Rückstände in Boden, Wasser oder Luft verteilen, wird das Pestizid für Testzwecke mit dem radioaktiven Kohlenstoff-Isotop  $^{14}\text{C}$  markiert. Wenn Forscher anschließend das Signal des zerfallenden Kohlenstoffes verfolgen, stellen sie dadurch fest, wo sich die Rückstände befinden. Doch wie ein Pestizid in der Natur verändert und zu welchen Substanzen es genau abgebaut wird, darüber können aktuelle Testverfahren nur wenig Auskunft geben. Genau dort setzt Matthias Kästners Forschung an. „In der Natur bauen Mikroorganismen Glyphosat im Prinzip komplett zu Biomasse und Kohlendioxid ab. Damit sind die Rückstände toxikologisch unbedenklich“, sagt der Forscher. „Doch in manchen Fällen bleibt Aminomethylphosphonsäure, kurz AMPA, übrig. Das Stoffwechselprodukt kann ebenfalls Zellschäden verursachen, wird aber viel langsamer abgebaut als Glyphosat und reichert sich deshalb in der Umwelt an.“

Matthias Kästner wollte wissen, warum sich manchmal AMPA bildet und manchmal nicht. Deshalb hat auch er das Glyphosat für seine Studie markiert. Allerdings nicht mit  $^{14}\text{C}$ . Denn wird das radioaktive Iso-

top als Marker verwendet, lässt sich später anhand der Strahlung nur feststellen, ob es mitsamt den Stoffwechselprodukten in Luft, Boden oder Wasser übergeht. Zu welchen Stoffen Glyphosat zersetzt wird, lässt sich damit nur schwer herausfinden. „Wir haben stattdessen zwei stabile, aber in der Natur sehr selten vorkommende Isotope von Kohlenstoff und von Stickstoff eingebaut:  $^{13}\text{C}$  und  $^{14}\text{N}$ .“ Der Trick: Bei dieser Herangehensweise untersuchen die Forscher die Moleküle in Boden-, Luft- und Wasserproben genau auf ihr Isotopenverhältnis. Stoßen sie dabei auf die seltenen Formen von Kohlenstoff oder Stickstoff, dann ist das untersuchte Molekül mit sehr hoher Wahrscheinlichkeit ein Stoffwechselprodukt des Glyphosats.

Das Ergebnis war überraschend: „Zu Anfang haben unsere Mikroorganismen das Glyphosat vollständig abgebaut, sich also davon ernährt“, fasst der Mikrobiologe zusammen. „Aber nach einer bestimmten Zeit des Wachstums fingen sie an, AMPA zu produzieren.“ Die Erklärung liefert der Forscher gleich mit. „In der normalen mikrobiellen Biomasse ist das Verhältnis von Kohlenstoff zu Stickstoff ungefähr neun zu eins. Im Glyphosat hingegen ist gut dreimal so viel Stickstoff. Haben die Bakterien genug davon aufgenommen, wandeln sie den Rest des Glyphosats in AMPA um“, sagt Matthias Kästner.

Mittlerweile hat seine Methode, die Stoffwechselwege von Mikroorganismen zu erkunden,



auch das Interesse der Europäischen Chemikalienagentur auf sich gezogen. In Zukunft werden solche Untersuchungen wohl in die Gesetzgebung über Biozide und Pestizide einfließen.

„Die Enzyme, die Mikroorganismen für den Schadstoffabbau nutzen, sind durch die Evolution in Millionen von Jahren immer perfekter auf den jeweiligen Stoff ausgerichtet worden“, bringt Dieter Bryniok die Vorteile biologischer Systeme auf den Punkt. „Bei chemischen Reaktionen hingegen entstehen immer auch Zwischenprodukte, die mitunter giftiger sind, als es der Ausgangsstoff je war.“ Der Professor für Umweltbiotechnologie lehrt heute an der Hochschule Hamm-Lippstadt. Neben Bioenergie interessiert ihn ganz besonders der biologische Schadstoffabbau, an dem er jahrelang am Fraunhofer-Institut für Grenzflächen- und Bioverfahrenstechnik (IGB) in Stuttgart forschte.

Bei seiner Arbeit dort standen neben Grundwasser, das mit chlorierten Kohlenwasserstoffen kontaminiert war, vor allem Industrieabwässer in seinem Fokus. Dieter Bryniok entwickelte biologische Reinigungsverfahren, zum Beispiel um Zyanide unschädlich zu machen. Und er hat sich mit dem Abbau von Formaldehyd befasst. Das farblose und stechend riechende Gas setzt jeder menschliche Körper in kleinsten Mengen als Stoffwechselprodukt frei. In konzentrierter Form jedoch schützt es Präparate, Gewebeproben, ja sogar Leichen wirksam vor Verwesung und Verfall oder hält die Flächen in Krankenhäusern steril. Auf der anderen Seite ist der Stoff aber nicht nur ein Kontaktallergen, sondern wird mittlerweile auch als krebserzeugend eingestuft.

**„Wir sind auf Bakterien gestoßen, die in so hohen Formaldehydkonzentrationen überleben können, wie sie allgemein zur Desinfektion in Krankenhäusern angewendet werden.“**

Lassen sich dann formaldehydbelastete Abwässer überhaupt biologisch reinigen? „Um der Frage nachzugehen, haben wir einen anderen Weg eingeschlagen als viele Kollegen“, erzählt der Physiker und Biologe. Sie haben nicht in der Natur nach Protagonisten für ihre Experimente gesucht, sondern sich erst einmal in der Bibliothek vergraben. „Wir haben zuallererst geschaut, auf welchem Wege ein Stoff chemisch abgebaut wird. Denn wir wussten: Was auf chemischem Wege möglich ist, das hat auch irgendein Organismus bereits umgesetzt. Und was auf chemischem Wege

unmöglich ist, funktioniert auch biologisch nicht.“ Ergebnis dieser Recherchen war: Formaldehyd ist ein Zwischenprodukt beim Abbau von Methanol. Mikroorganismen zu finden, die diesen einfachen Alkohol in hohen Konzentrationen abbauen, war dann nicht schwer. „Wir haben diese selektiert und mit einigen Tricks auch hohen Konzentrationen an Formaldehyd ausgesetzt“, erzählt Dieter Bryniok. „So sind wir im Endeffekt auf Bakterien gestoßen, die in so hohen Formaldehydkonzentrationen überleben können, wie sie allgemein zur Desinfektion in Krankenhäusern angewendet werden.“

Die Mühe hat sich gelohnt. Denn die Wissenschaftler hielten jetzt nicht nur ein Bakterium in den Händen, das Formaldehyd gut abbauen kann – nein, sie haben daraus auch jenes Enzym extrahiert, das für den Formaldehydabbau zuständig ist. „Lebende Bakterien als Filter zu benutzen ist in vielen Fällen nicht praktikabel“, sagt Dieter Bryniok – und fügt gleich ein Beispiel an: Bodenbeläge, Spanplatten oder Möbel etwa geben oft Formaldehydausdünstungen an die Wohnraumluft ab. Hier könnte ein Filter helfen, in dem das Enzym eingesetzt wird. ◆

#### Kai Dürfeld



**Verunreinigt** Das Tal des Dorfes Geamana wurde mit Klärschlamm aus einer nahe gelegenen Mine geflutet und ist mit Zyanid und anderen Chemikalien belastet. Bild: Shutterstock/Calin Stan



#### ONLINE

Warum archiviert man Mikroben? Interview mit Jörg Overmann, Deutsche Sammlung von Mikroorganismen und Zellkulturen (DSMZ)

→ [www.helmholtz.de/mikroben](http://www.helmholtz.de/mikroben)



# „Wir nutzen das Wissen der Älteren, um die Bedeutung der Veränderung zu verstehen“

An der Spitze des kanadischen Yukon-Territoriums untersucht Hugues Lantuit, wie der Klimawandel die Region verändert. Der Geowissenschaftler bezieht in seine Forschung auch die Erfahrungen der Ortsansässigen ein.

**E**in Sommer nördlich des Polarkreises: Flechten, Moose und Gräser wachsen, zarte Wildblumen blühen. An steil abfallenden Klippen endet die arktische Tundra-Landschaft. Von ikonischen Eisbergen auf dem Meer keine Spur. „Wir haben so viele falsche Bilder im Kopf“, sagt Hugues Lantuit, „wir denken an die Arktis und stellen uns gleich Schnee und Eis vor, aber ich erlebe die Arktis als einen grünen Ort.“

Oikiqtaruk heißt dieser grüne Ort, eine Insel in der Beaufortsee im Arktischen Ozean – besser bekannt als Herschel Island. Hier liegt das Feldlabor von Hugues Lantuit. Seit 2006 bricht der Geowissenschaftler vom Alfred-Wegener-Institut, Helmholtz-Zentrum für Polar- und Meeresforschung (AWI) jedes Jahr an die nördlichste Spitze des kanadischen Yukon-Territoriums auf, um die Permafrostböden zu untersuchen.



Die Böden sind einen Großteil des Jahres hindurch gefroren. Nur zwischen Juni und September steigen die Temperaturen über den Gefrierpunkt, sodass sie oberflächlich antauen. Doch infolge der Erderwärmung tauen die Permafrostböden immer tiefer auf. Das treibt den gebürtigen Franzosen um: In den Böden der arktischen Permafrostgebiete sind enorme Mengen Kohlenstoff gespeichert. Er ergründet, welche Auswirkungen es auf das Klima und die regionale Wirtschaft hat, wenn Küsten- und Unterwasser-Permafrost auftaut und Kohlenstoff freigesetzt wird.

„Arktische Küstengebiete, das klingt vielleicht nach einem Nischenthema“, sagt der 42-jährige Hugues Lantuit, „aber ein Drittel der Küsten weltweit sind Permafrostküsten. Und wenn diese Böden tauen, ist das eine Bedrohung für den globalen Klimakreislauf.“ In der Region spüren die Menschen schon jetzt die Folgen: Die Küsten leiden unter Erosion, sie brechen mit großer Geschwindigkeit weg, viel schneller als etwa Steilküsten in Nordeuropa. Und die ganze Infra-

struktur nimmt Schaden: Wege und Landebahnen beginnen zu bröckeln, Gebäude und Leitungen sind gefährdet, wenn der Untergrund aufweicht. „Die Reparaturkosten sind beachtlich, es wird schwerer zu bauen“, erklärt Hugues Lantuit die Situation.

### „Wir erforschen auch, welche Risiken für die Infrastruktur und die Gesundheit der Menschen entstehen.“

Das ist einer der Gründe für das EU-Projekt Nunataryuk, benannt nach dem Ausdruck für „Land – Meer“ auf Inuvialuktun, der Sprache der Inuit Nordwestkanadas. „Wir wollen nicht nur verstehen, was mit dem organischen Material passiert, das beim Auftauen freigesetzt wird und über Flüsse ins Meer gelangt, sondern wir erforschen auch, welche Risiken für die Infrastruktur und die Gesundheit der Menschen entstehen“, sagt Hugues Lantuit, der das Projekt seit 2017 koordiniert. 28 Partnereinrichtungen arbeiten darin →





**Abgeschieden** Arktische Siedlungen befinden sich meist an den Küsten, die vom Klimawandel besonders bedroht sind. Bild: Leneisja Jungsberg



**Lange Tage** Bei gutem Wetter können die Forscher Messungen von früh bis spät durchführen. Bild: Niek Speetjens

zusammen, Naturwissenschaftler sind ebenso beteiligt wie Sozialwissenschaftler. Das Besondere: Das Projekt wird von einem Forum geleitet, in dem Vertreter der arktischen Küstengemeinden beteiligt sind – und der indigenen Gesellschaften, die einen bedeutenden Bevölkerungsanteil stellen. „Die Menschen interessiert, wie es der Fauna geht, und die Fischer wollen wissen, wie das Ökosystem Küste beeinflusst wird“, sagt der AWI-Forscher.

Ausgangspunkt jeder Forschungsreise ist Inuvik, mit rund 3.500 Einwohnern die größte kanadische Stadt nördlich des Polarkreises – hier bereiten sich die Wissenschaftler auf ihre vierwöchige Feldarbeit vor. „Sehr gut zugänglich“, bewertet der Geoforscher die Lage Inuviks, zwei Tage dauere die Reise mit dem Flugzeug dorthin nur. Hugues Lantuit scheint von den vielen Reisen abgehärtet.

„Die ersten Tage vor Ort sind immer für die Organisation der Feldarbeiten reserviert. Einkaufen, auspacken, umpacken, Leute treffen, Hände schütteln, Kisten schleppen“, berichtet sein Forscherteam online nach Hause. Das Baummarkt-sortiment inspizieren, Mahlzeiten vorbereiten und

einfrühen, Ausrüstung und Verbrauchsmaterial ordnen, es ist viel zu tun, bevor sie dann aufbrechen zu den vier Wochen Arbeiten und Leben im Feld. Es geht weiter nach Aklavik: ein übersichtliches Dorf, für die 600 Einwohner gibt es kleine Supermärkte und einen Landstreifen für Flugzeuge, eine Straße führt nicht hierhin. Die Siedlung ist von Wasserläufen und Seen umgeben. Ein Kleinflugzeug Typ Twin Otter ist in dieser Region das Verkehrsmittel der Wahl. Mit ihm legen die Forscher auch die letzten rund 200 Kilometer nach Herschel Island zurück. Lediglich eine Handvoll Passagiere kann die Twin Otter mitnehmen; denn meistens sind noch Hunderte Kilo Fracht mit an Bord.

**„Jeden Morgen sitzen wir zusammen und bewerten neu, ob wir die geplanten Arbeiten angehen können.“**

„Herschel Island ist eine sehr schöne Insel, ein sehr besonderer Ort“, sagt Hugues Lantuit. Sie hat den Status eines besonderen Schutzgebiets. Alte Holzgebäude aus Kolonialzeiten sind heute zu Unterkünften und Behelfslaboren für Wissenschaftler umfunktioniert. Das sei viel komfortabler als früher, befindet der Wissenschaftler: Bei seinen ersten Expeditionen vor 16 Jahren sei er noch im Zelt untergebracht gewesen.

Die Arbeitstage in der Arktis sind schwer planbar. „Wir sind vom Wetter abhängig, und das ändert sich schnell. Jeden Morgen sitzen wir zusammen und bewerten neu, ob wir die geplanten Arbeiten angehen können“, sagt der AWI-Forscher. Ganz oben auf der Packliste für die Arktis: gute Kleidung, die vor Kälte und Wetter aller Art schützt. Die arktische Sommersonne scheint lang, noch der letzte Funke Tageslicht wird für Laborarbeiten genutzt.

Über die Jahre hat Hugues Lantuit nicht nur geforscht, sondern auch Methoden zur Bärenabwehr trainiert, Boote repariert und „gute Stimmung unter Behörden und lokale Entschei-



**Erfahren** Hugues Lantuit hat zahlreiche Arktisexpeditionen geleitet und koordiniert das EU-Projekt Nunataryuk. Bild: Dylan Reibling

„dungsträger gebracht“, berichtet sein Team. Mit Erfolg für das Projekt Nunataryuk, das auf genau diesen langjährigen Partnerschaften aufbaut. Wie verbreiten sich Anthrax-Erreger, die im Permafrost eingeschlossen waren? Welche Krankheiten treten auf, weil die Wasserinfrastruktur leidet? Welche Folgen hat es, dass Quecksilber freigesetzt wird? Gibt es Auswirkungen auf Meerestiere? Solche Forschungsfragen entstanden in Zusammenarbeit mit den Menschen vor Ort. Ähnliches in einem kurzen Dreijahresprojekt zu erreichen, hält Hugues Lantuit für „vollkommen unrealistisch“. Gastfreundlich seien die Aklaviker, ja, „dennoch braucht es Zeit, wirklich Vertrauen zu gewinnen – das ist nicht anders als in kleinen Dörfern in Deutschland“, sagt der Geowissenschaftler. „Und es ist dieser Austausch mit den lokalen Stakeholdern, der das Projekt für mich so wertvoll macht.“ Der Dialog werde geführt, „bis alle happy sind“. Nicht nur während der Arbeitsphasen im Feld, sondern auch per Telefon und Facebook im restlichen Jahr.

**„Wir tun nicht etwas ‚für die Inuit‘, sondern arbeiten miteinander.“**

„Die Menschen hier wissen um die Gefahren und die Bürgermeister machen auf ihre Themen aufmerksam. Mir fällt auf, wie bevormundend wir in Europa manchmal sind. Zum Teil existiert ja immer noch das Bild von in Iglus lebenden Menschen – die Realität sieht anders aus: funktionierende Infrastruktur, Internet, gut organisierte Gemeinden. Wir tun nicht etwas ‚für die Inuit‘, sondern arbeiten miteinander. Wir nutzen das Wissen der Älteren, um die Bedeutung der Veränderung zu verstehen, und wir lernen von ihnen über das Land und die Landschaft.“

Wenn es nach Hugues Lantuit ginge, gäbe es viel mehr Projekte wie Nunataryuk. Wenn im hohen Norden doch mal Feierabend ist, genießt

der Forscher das Campleben: Zeit mit den Park-Rangern verbringen, Karten spielen, Geschichten austauschen. Manchmal fangen die Ranger Seesaibling, der geräuchert oder gemeinsam gegrillt wird – eine Abwechslung zur vorgekochten Tiefkühlkost. Selten steht auch gegrilltes Karibu auf dem Speiseplan; es ist eine besondere Tradition, dass die jungen Jäger diese Rentierart jagen. Insgesamt hat Hugues Lantuit rund eineinhalb Jahre im Norden Kanadas verbracht. Vor allem berühren ihn die Wiedersehen mit Menschen, die er nun schon seit vielen Jahren kennt und deren Heimat extremen Veränderungen ausgesetzt ist.

„Natürlich können wir nur bedingt Lösungen bieten, aber wir können mit unseren Daten die Veränderungen ökonomisch und soziologisch besser einordnen.“ Gerade wurde etwa eine neue Karte zu Permafrostvorkommen im Meeresboden veröffentlicht. Erstmals soll es eine Datenbank zu Quecksilbervorkommen in Permafrostböden geben und auch einen sozioökonomischen Atlas, der zeigt, wie viele Menschen wo auf Permafrost leben. „Solche Zahlen hatte niemand vorher“ – Hugues Lantuit hofft, dass sie es erleichtern, auf politischer Ebene Gehör zu finden.

Als Familienvater ist er heute weniger unterwegs als noch vor einigen Jahren, aber sobald wie möglich soll es für den Forscher wieder nach Aklavik und Herschel Island gehen. Und: „Die Zusammenarbeit muss auch nach dem Projekt weitergehen“, steht für ihn fest. „Wir können nicht mehr so forschen wie noch vor einigen Jahren – hinfahren, Ergebnisse sammeln und einfach wieder wegfahren.“

**Kristine August**

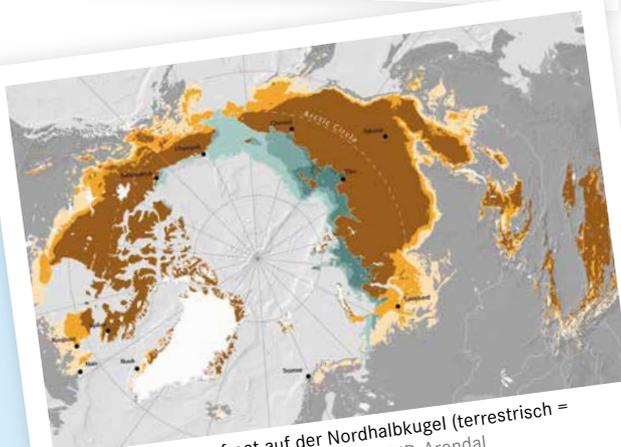


**BILDERGALERIE**

Mehr Ausgaben von „Helmholtz weltweit“ und Bildergalerien gibt es unter:  
 → [www.helmholtz.de/weltweit](http://www.helmholtz.de/weltweit)



**Weggebrochen** Der Verlust von Meereis beschleunigt das Auftauen von Permafrostböden und führt langfristig zu Küstenerosion. Bild: Vincent Sasseville



**Übersicht** Permafrost auf der Nordhalbkugel (terrestrisch = orange-braun, marin = türkis). Grafik: GRID-Arendal

**NUNATARYUK ...**



... untersucht, wie sich das Auftauen von Küsten- und Unterwasser-Permafrost auf das globale Klima auswirkt, und entwickelt gemeinsam gezielte Anpassungs- und Abmilderungsstrategien für die arktische Küstenpopulation. Das EU-Projekt ermöglicht Forschung und Dialog über Grenzen hinweg: Beteiligt sind 28 Partner aus Belgien, Dänemark, Deutschland, Frankreich, Island, Italien, Kanada, den Niederlanden, Norwegen, Österreich, Portugal sowie Schweden. Es hat eine Laufzeit von fünf Jahren und endet im Oktober 2022.

# Im Bergwerk der Daten

Seit ihrer Kindheit in China ist **Xiaoxiang Zhu** fasziniert vom All. Jetzt hat die Datenwissenschaftlerin ihren Traumjob gefunden: Am Deutschen Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR) analysiert sie gewaltige Informationsmengen, die von Satelliten zur Erde gesendet werden.

**A**n eines der Studentenprojekte kann sich Xiaoxiang Zhu noch lebhaft erinnern: Im Jahr 2007 muss es gewesen sein, die Chinesin war erst seit einigen Monaten in Deutschland und ihr Professor stellte sie vor eine Aufgabe, die ihren weiteren Werdegang prägen sollte. „Ich war mit vier Kommilitonen im Team und wir sollten eine Satellitenmission entwickeln“, erinnert sich die heute 35-Jährige, der die Faszination für die damalige Aufgabe noch heute anzumerken ist: „Ausdrücklich sollten wir alle Details durchdenken – von den Sensoren des Satelliten bis zum gesamten IT-System dahinter.“

Es war, als würde sich ein Kreis schließen im bisherigen Leben von Xiaoxiang Zhu. Rund anderthalb Jahrzehnte vorher, als sie noch Grundschülerin war in der Provinz Hunan im Südosten Chinas, sah sie bei ihrem Vater ein Foto der Erde, aufgenommen aus dem Weltall. „Diese blaue Kugel, so friedlich, so schön – das hat mich fasziniert“, sagt Xiaoxiang Zhu. Ihr Vater ist Mathelehrer und unterstützte seine Tochter dabei, sich in jene Gebiete zu vertiefen, die sie spannend fand. Mathematik und Naturwissenschaften zählten dazu, und früh kam bei ihr der Ehrgeiz dazu: „Das sind genau die Disziplinen, wo viele denken, dass Männer darin besser seien. Mich hat es ungemein angespornt zu zeigen, dass auch wir Frauen auf diesen Gebieten etwas leisten können“, sagt sie. Dieses Foto der Erdkugel hat sie nie vergessen und als sie dann später als Studentin an der Technischen Universität München selbst vom Seminarraum aus zu Übungszwecken eine Satellitenmission konzipieren sollte, dachte sie wieder zurück an diese frühe Kindheitserinnerung.

Heute ist der Blick aus dem Weltall auf die Erde längst zu ihrem Berufsalltag geworden: Xiaoxiang Zhu leitet am Institut für Methodik der Fernerkundung am Deutschen Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR) die Abteilung Earth Observation Data Science. Zugleich hat sie an der

TU München den Lehrstuhl für Signalverarbeitung in der Erdbeobachtung inne; als sie 2015 ernannt wurde, war sie mit ihren damals 30 Jahren eine der jüngsten Professorinnen in ganz Deutschland.

Wenn sie über ihre Forschung erzählt, mischen sich immer wieder englische Begriffe in ihr hervorragendes Deutsch, das sie in ihren inzwischen fast 14 Jahren in München gelernt hat. Über ihre „science questions“ spricht sie und darüber, wie sie mit Satellitendaten die „population density“ in bestimmten Bereichen der Erde ermitteln kann; zugleich erzählt sie begeistert auf Deutsch von einer „maßgeschneiderten“ Methodik zur Verarbeitung von gewaltigen Datenmengen. Die Fachbegriffe aus zwei Sprachen mischen sich bei ihr ebenso wie die vielen verschiedenen wissenschaftlichen Disziplinen, die sie in ihrer 45-köpfigen Forschungsgruppe vereint: Experten für künstliche Intelligenz sind dabei, Informatiker mit Schwerpunkt auf Data Science, Mathematiker und Wissenschaftler, die so wie sie selbst einen Hintergrund aus der Raumfahrttechnik haben.

Mit ihrem Team arbeitet sie unter anderem an der Kartierung von Städten. „Viele der weltweiten Migrationsströme vom Land in die Stadt enden in Slums und wenn man dort wirklich etwas verbessern möchte, braucht man zuerst bessere Informationen“, erläutert sie die Hintergründe – denn gerade in Schwellenländern mit rasant wachsenden Megacities fehlt es oft an Daten über die Bevölkerungsentwicklung. Im indischen Mumbai zum Beispiel entstehen oft Brände, weil Stromkabel unterdimensioniert oder falsch verlegt sind; Informationen über den tatsächlichen Bedarf sind deshalb entscheidend.

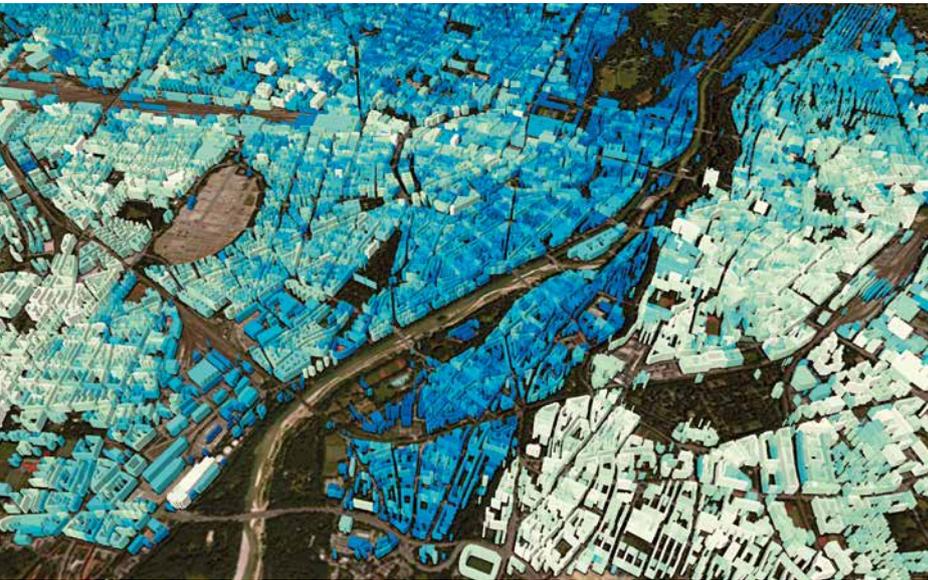
Wie aber lassen sich diese Daten gewinnen? Xiaoxiang Zhu nimmt optische Daten von Satelliten, um die Umrisse von Gebäuden zu erkennen; Radardaten wiederum helfen, die Höhe der Häuser abzuschätzen. Das reicht schon einmal aus, um ein 3-D-Modell zu erstellen. Komplizierter wird →





**XIAOXIANG ZHU**

*Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR)*



**München in 3-D** Xiaoxiang Zhu kartiert Städte mithilfe satellitengestützter Erdbeobachtung, künstlicher Intelligenz und Social Media. Bild: DLR/TU München, Xiaoxiang Zhu

es allerdings, wenn es um die Einschätzung geht, ob es sich um Büro- und Werkstatt Häuser oder um Wohnräume handelt. Dazu bezieht die Münchner Forscherin mit ihrem Team auch anonymisierte Social-Media-Nachrichten ein: „Wir wissen beispielsweise, dass in einem Wohngebäude morgens und abends viele Tweets versendet werden, in einem Bürogebäude hingegen vor allem tagsüber“, sagt sie. Um dieser gewaltigen Datenberge Herr zu werden, ist vor allem das nötig, was Xiaoxiang Zhu als „Information Mining“ bezeichnet: mit KI-Algorithmen herauszufinden, welches die relevanten Informationen sind und was sich aus ihnen ableiten lässt. Das ist Big Data pur: Bis zu zehn Petabyte an Daten werden dafür analysiert.

Dass sie ihre Professur gerade in München angetreten hat, verdankt sie einem Zufall: Ihren Bachelor machte Xiaoxiang Zhu in China, zu Deutschland hatte sie keinen Bezug. „Aber mein damaliger Freund plante zu dieser Zeit, nach Deutschland zu gehen, und ich habe nach Recherchen herausgefunden, dass es an der Technischen Universität München einen englischsprachigen Masterstudiengang gibt, der genau auf mein Profil passt“, erzählt sie. Kurzerhand schrieb sie der Vizepräsidentin, und schnell war man sich einig: Die talentierte junge Studentin, die in China schon während ihres Bachelor-Studiums der Luft- und Raumfahrttechnik den zweiten Platz in einem internationalen Mathematikwettbewerb gewonnen hatte („nichts Besonderes“, sagt sie achselzuckend: „Es ging darum, den Fahrplan für alle Busse einer Stadt durch mathematische Modellie-

rung zu optimieren“), bekam den Studienplatz – und betrat so im September 2006 zum ersten Mal deutschen Boden. „Genau genommen“, fügt sie an, „war es sogar mein erster Aufenthalt außerhalb Chinas.“ Sie staunte über die Großstadt, die trotz allem so anders aussah als die chinesischen Riesenstädte, die sie kannte, und fühlte sich gleich wohl. München ist für sie eine Stadt im Wald, in der Nähe der Berge, voller sozialer Aktivitäten und mit liebenswerten Menschen. In München könne sie ihren Frieden finden, sagt sie.

Und vor allem: Xiaoxiang Zhu stürzte sich ins Studium, das in Deutschland gänzlich anders ablief, als sie es aus China kannte: „Mehr Handson-Experimente“, erklärt sie in ihrer Mischung aus Deutsch und Englisch und berichtet fasziniert von einer Vorlesung bei Richard Bamler, dem Direktor des Instituts für Methodik der Fernerkundung des DLR. Damals war er an der Entwicklung des deutschen Radarsatelliten TerraSAR-X beteiligt und schwärmte seinen Studenten von der Aufgabe vor; er trug sogar in der Vorlesung ein T-Shirt mit dem Logo der Mission – so viel Begeisterung steckt an. Xiaoxiang Zhu krepelte die Ärmel hoch: 2011 Promotion, 2013 Habilitation, 2015 Professur, 2016 Aufnahme in die Leopoldina und das Junge Kolleg der Bayerischen Akademie der Wissenschaften, seit 2018 Abteilungsleiterin am DLR. Jetzt pendelt sie zwischen dem DLR-Standort in Oberpfaffenhofen und der TU München, dazwischen ist sie oft in den Bergen beim Skifahren oder Wandern.

Und manchmal denkt sie an das Leben, das sie hätte, wenn sie sich nicht frühzeitig der Wissenschaft verschrieben hätte. „Ich wäre total gern auch Fotografin geworden, dann würde ich Reise- und Landschaftsfotos machen für National Geographic oder ähnliche Magazine – das würde mir auch Spaß machen“, ruft sie mit Begeisterung und zieht ihr Handy heraus. Auf dem Bildschirm ist ein Foto vom Institutsgebäude bei Sonnenaufgang, „das ist jetzt zwei oder drei Wochen her“, sagt sie. Und dann sind da natürlich die Fotos von ihrer letzten großen Reise, im norwegischen Tromsø war sie, mit der Kamera auf den Spuren der Polarnacht.

„So viele digitale Fotos“, seufzt Xiaoxiang Zhu: „Bis man die alle richtig erfasst und so speichert, dass man sie wiederfindet!“ Einen kurzen Moment stockt sie, dann lacht sie auf: Schon ist sie von ihrem Fotografentraum wieder zurück bei ihrem großen Thema als Wissenschaftlerin – beim Umgang mit den digitalen Datenbergen. ◆

**Kilian Kirchgeßner**



**ONLINE**

Mehr Porträts finden Sie hier:

→ [www.helmholtz.de/portraits](http://www.helmholtz.de/portraits)



## ELEKTRISCH LEITFÄHIGE KNETE

Du möchtest Elektronikexperimente machen? Dann ist selbst gemachte leitfähige Knete genau das Richtige für dich: Sie ist Kunst, Kabel und Steckbrett in einem und du kannst sie ganz einfach in allen Farben herstellen.

### DAS BRAUCHST DU:

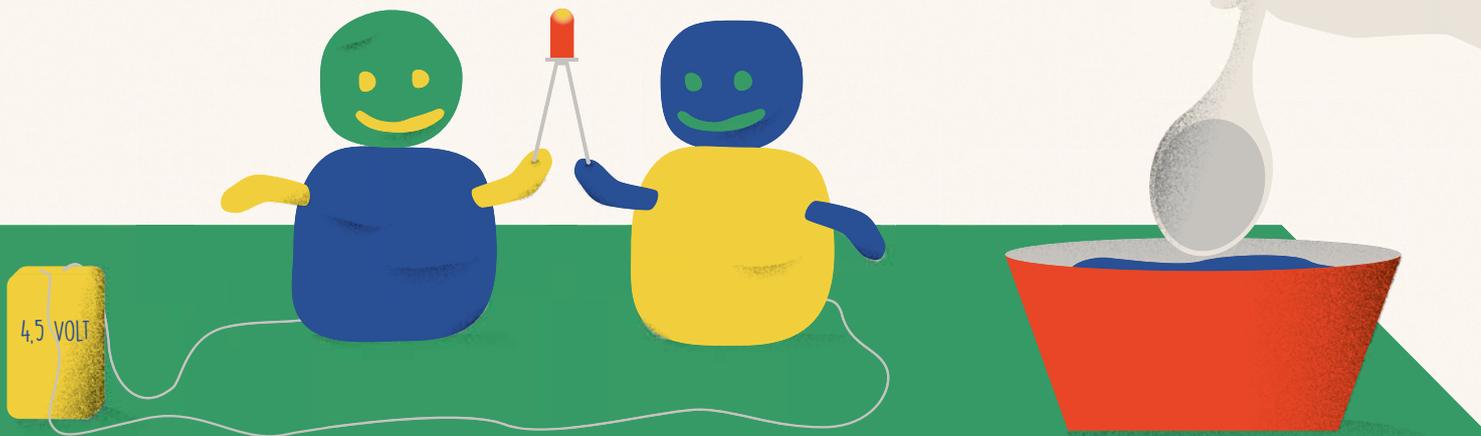


### SO WIRD'S GEMACHT:

1. Mische  $\frac{2}{3}$  des Mehls mit Wasser, Salz, Zitronensaft, Pflanzenöl und Lebensmittelfarbe in einer feuerfesten Schüssel oder einem Topf.
2. Erwärme nun die Mischung bei mittlerer Hitze auf einer Kochplatte und rühre ununterbrochen um. Die Masse wird mit der Zeit dickflüssiger und es bilden sich Klümpchen – wie bei der Zubereitung eines Kuchenteigs.
3. Rühre kräftig immer weiter, bis sich aus der Teigmischung ein Ball formen lässt. **Achtung: Die Knete ist sehr heiß! Lasse den Teig auf einer mit Mehl bestäubten Arbeitsfläche etwas abkühlen.**
4. Knete dann mit der Hand weiter und füge so viel Mehl hinzu, bis die gewünschte Konsistenz erreicht ist. Deine leitfähige Knete ist fertig! Bewahre sie in einem luftdichten Gefäß auf. Nach dem gleichen Prinzip kannst du nichtleitfähige Knete herstellen, indem du Zitronensaft und Kochsalz weglässt.
5. Mit den Knetmassen, einer Blockbatterie, Leuchtdioden und Kabeln kannst du nun Figuren mit glühenden Augen oder leuchtenden Lämpchen bauen. Die nichtleitfähige Knete kannst du dabei als isolierende Schicht zwischen der leitfähigen Knete einsetzen.

### ERKLÄRUNG:

Ob ein Stoff elektrisch leitfähig ist oder nicht, hängt von der Verfügbarkeit beweglicher Ladungsträger ab. Wässrige Lösungen haben eine geringe Leitfähigkeit. Sie steigt, wenn man dem Wasser Ionen, also Salze, Säuren oder Basen, hinzufügt – in unserem Fall also Zitronensaft und Kochsalz.



VIDEO

Schau dir Experimente als Video an unter:  
→ [www.helmholtz.de/experiment](http://www.helmholtz.de/experiment)



ONLINE

Mehr über die Schülerlabore unter:  
→ [www.helmholtz.de/schuelerlabore](http://www.helmholtz.de/schuelerlabore)



DLR\_School\_Lab TU Dresden  
Technische Sammlung Dresden  
Junghansstr. 1–3, 01277 Dresden  
Tel.: +49 351-4887207  
E-Mail: [dlr.school.lab@tu-dresden.de](mailto:dlr.school.lab@tu-dresden.de)  
[www.dlr.de/schoollab/tu-dresden](http://www.dlr.de/schoollab/tu-dresden)

