

Ausgabe 02 | 2021

# MAX PLANCK

*Forschung*

## MATERIALFORSCHUNG

Tuning für den Sonnenstrom

## INFORMATIONSTECHNIK

Die Architektur des Quanteninternets

## UMWELTRECHT

Gerichte als Klimaschützer



... UND JETZT ALLE!



FOTO: IMAGO / IMAGEBROKER

**M**ustergültige Teamarbeit: Tropische Weberameisen leben hoch in den Bäumen, wo sie große Kolonien bilden. Charakteristisch für sie sind kunstvolle Nester aus Blättern, die sie mit der Spinnseide ihrer Larven errichten.

In gemeinsamer Kraftanstrengung ziehen zunächst einige von ihnen die Blattränder zusammen. Andere Arbeiterinnen, die Seide produzierende Larven in ihren Kiefern tragen, verweben anschließend die Blätter. Die kleinen Insekten sind damit ein Paradebeispiel für Zusammenhalt!

# EDITORIAL

---

Liebe Leserin, lieber Leser

Die Ameisen auf unserem Titel sind ein eindrucksvolles Beispiel dafür, was sich zusammen mit anderen erreichen lässt. Aber wie konnte Zusammenhalt in der Evolution überhaupt entstehen? Schließlich erfordert das Gruppenleben immer auch Kompromisse auf Kosten des Individuums.

Auf der Suche nach den Ursprüngen von Gemeinschaften lassen Forschende im Labor Evolution im Zeitraffer ablaufen. Ihr Untersuchungsobjekt: Bakterien. Die Einzeller bilden unter geeigneten Bedingungen Zellverbände, die neue Lebensräume besiedeln und sich eigenständig weiterentwickeln können. Ist das der erste Schritt auf dem Weg zum Organismus?

Auch Paviane profitieren vom Leben in Gruppen. Es hilft ihnen bei der Nahrungssuche und bietet Schutz vor Feinden. Aber wer sagt der Horde eigentlich, wo's langgeht? Neueste Ergebnisse zeigen, dass es überraschenderweise nicht die Alphamännchen sind, die die Richtung vorgeben.

Zu unbestrittener Meisterschaft in puncto Zusammenhalt hat es der Mensch gebracht. Aber das Miteinander in unserer Gesellschaft wird immer wieder auf die Probe gestellt. Ein wichtiger Kitt ist Zivilcourage. Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler wollen verstehen, warum manche Menschen mehr Zivilcourage zeigen als andere und wie sich die Bereitschaft erhöhen lässt, für andere einzustehen.

Auf ihrem Weg zu neuem Wissen überschreitet die Forschung immer wieder Grenzen und macht Ungesehenes sichtbar. Von dieser Ausgabe an präsentieren wir in jedem Heft ein Bilderpaar, das einen „zweiten Blick“ auf einen Forschungsgegenstand ermöglicht. Die Abbildungen stellen erstaunliche Zusammenhänge her oder lassen Vertrautes in neuem Licht erscheinen. Seien Sie neugierig.

In diesem Sinn wünschen wir viel Freude beim Lesen und Staunen!

Ihr Redaktionsteam



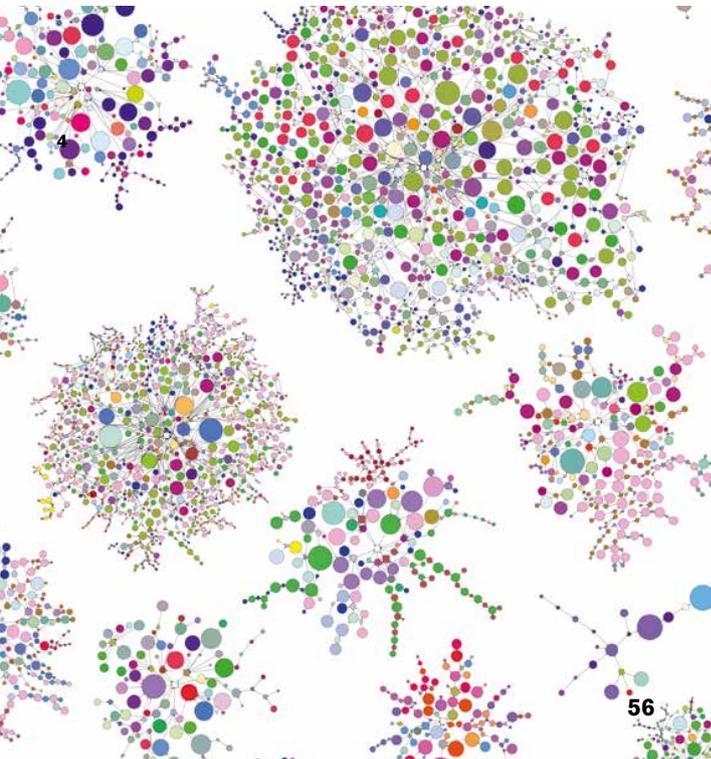
**34 | ENERGISCH**

Im Ernstfall zeigen nur wenige Courage, wenn sie Zeuge eines Verbrechens werden.



**48 | ERFINDERISCH**

Majd Al-Naji will Pflanzenabfälle und Plastikmüll in Treibstoffe verwandeln.



**56 | POLEMISCH**

In den sozialen Medien laufen politische Debatten häufig aus dem Ruder.



**76 | KÄMPFERISCH**

Klimaschützer gehen nicht nur auf die Straße, sondern auch vor Gericht.

FOTOS: DOROTHEA PLUTA (LINKS OBEN), DAVID AUSSERHOFFER (RECHTS OBEN), YU BRUSSEL/MICHAEL ANSLOW (LINKS UNTEN), PICTURE ALLIANCE / XIMGS (RECHTS UNTEN)

## 03 | EDITORIAL

## 06 | ORTE DER FORSCHUNG

Der Palazzo Grifoni Budini Gattai  
in Florenz

## 08 | KURZ NOTIERT

## 16 | ZUR SACHE

### China – ein Partner im Wandel

Die Max-Planck-Gesellschaft pflegt seit bald 50 Jahren enge Kontakte zu China. Das Land hat sich in den vergangenen Jahren rasant entwickelt. Damit ergeben sich ganz neue Herausforderungen für die Zusammenarbeit.

## 24 | INFOGRAFIK

Die Toten des ersten Corona-Jahres

## IM FOKUS

... und jetzt alle!

## 26 | Die ganze Affenschar auf Kurs

Paviane durchstreifen in großen Gruppen die Savanne auf der Suche nach Nahrung. Nahezu ein Jahrzehnt lang hat eine Wissenschaftlerin in Kenia eine solche Horde beobachtet. Sie will verstehen, was die Gemeinschaft zusammenhält.

## 34 | Selten mutig

Zivilcourage ist in einer freiheitlichen Gesellschaft unersetzlich. Doch im Ernstfall wagen es nur wenige, die Opfer von Verbrechen zu schützen oder sich aktiv gegen Hass und Rassismus zu stellen. Was sind Anlässe, was Bedingungen für Zivilcourage?

## 40 | Die Geburt des Kollektivs

Wer betrügt, fliegt raus. Im Fall von Bakterien ist das Schummeln hingegen erwünscht. Denn wenn aus Einzelzellen ein vielzelliger Organismus werden soll, kann zu viel Zusammenhalt für die Gemeinschaft kontraproduktiv sein.

## 48 | BESUCH BEI

Majd Al-Naji

Auf dem Sprung zur grünen Chemie

## 54 | ZWEITER BLICK

## WISSEN AUS

## 56 | Im Getriebe der Meinungsmaschine

Politische Debatten geraten heute oftmals zur verbalen Keilerei, vor allem in sozialen Medien. Wie aber kommt es zu Polarisierung? Und wie funktioniert Meinungsbildung in Gruppen?

## 62 | Tuning für den Sonnenstrom

Bis 2045 soll Deutschland klimaneutral werden. Das kann nur durch massiven Ausbau der Solarenergie und bessere Fotovoltaikmodule gelingen. Neue Materialien sollen effizientere Anlagen ermöglichen.

## 68 | Die Architektur des Quanteninternets

Die Attacken von Hackern dürften durch neue Techniken immer größere Schäden anrichten. Doch zumindest die Übertragung von Daten könnte in Zukunft sicherer werden – durch Quantenkommunikation.

## 76 | Gerichte als Klimaschützer

Die Auswirkungen der Erderwärmung zeigen sich immer deutlicher. Weltweit ziehen Klimaschützer vor Gericht, um die Bewahrung der natürlichen Lebensgrundlagen einzuklagen.

## 82 | POST AUS ...

Indien

## 84 | NEU ERSCHIENEN

## 86 | FÜNF FRAGEN

Zu Glyphosat

## 87 | IMPRESSUM

## BIOMAX

Im Wettlauf mit dem  
Virus – kein Impfstoff ohne  
Grundlagenforschung



*FORSCHEN  
IM PLANO NOBILE*

6 Das Kunsthistorische Institut in Florenz (KHI) ist eine der ältesten Einrichtungen zur Erforschung der Kunst- und Architekturgeschichte Italiens. 1897 als private Initiative von Gelehrten gegründet, gehört es seit 2002 mit erweitertem Forschungsprofil zur Max-Planck-Gesellschaft. Was tun, wenn das Gebäude eines solch renommierten Instituts renoviert werden soll, ohne dass der Forschungsbetrieb eingeschränkt wird? Als das KHI im Jahr 2010 vor dieser schwierigen Frage stand, kam die Idee auf, die Photothek für die Dauer der Arbeiten in den Palazzo Grifoni Budini Gattai zu verlagern. Der Palast liegt im Zentrum von Florenz zwischen dem Dom und der Kirche Santissima Annunziata, in unmittelbarer Nähe zur Akademie, zur Universität und zum Institut. Trotz des Umzugs blieb so auch der räumliche Zusammenhalt wichtiger Bereiche des Kunsthistorischen Instituts gewahrt.

Der Palazzo Grifoni wurde im 16. Jahrhundert im Auftrag von Ugolino Grifoni erbaut und 1890, nachdem die Familie Budini Gattai das Renaissance-Gebäude erworben hatte, neu ausgestattet. In die um 1900 gestalteten Repräsentationsräume im Piano Nobile konnte im Jahr 2010 die Photothek in einem Raum-im-Raum-Konzept eingebaut werden, ohne dass dies die denkmalgeschützten Säle gefährdete. Jeder Quadratzentimeter wurde genutzt, um die Fotografien den Forschenden auch weiterhin in Freihandaufstellung zugänglich zu machen und gleichzeitig Archivmaterialien, die Fotobibliothek sowie Arbeitsplätze und einen Vortragssaal unterzubringen.

Die Photothek ist mit 620 000 Fotografien eine der wichtigsten Sammlungen zur Erforschung italienischer Kunst und Architektur. Bestand und Archiv sind längst selber zu Forschungsobjekten geworden. Mit Projekten, Tagungen, Workshops und Publikationen spielt die Photothek eine Hauptrolle in der internationalen Debatte über die Funktion von Fotoarchiven im 21. Jahrhundert.

*Online-Ausstellung des KHI  
[www.mpg.de/02202101de](http://www.mpg.de/02202101de)*



FOTO: BÄRBEL REINHARD, KUNSTHISTORISCHES INSTITUT IN FLORENZ – MAX-PLANCK-INSTITUT

# ORTE DER FORSCHUNG

---



7

# ECOBUS NIMMT FAHRT AUF

Menschen effizienter und umweltfreundlicher zu befördern – mit dieser Absicht tritt die EcoBus GmbH an. Die neu gegründete Firma will ein Ridepoolingsystem in die breite Anwendung bringen, das am Max-Planck-Institut für Dynamik und Selbstorganisation in Göttingen entwickelt wurde. In Testläufen im Jahr 2018 konnten Fahrgäste im Harz und in Bad Gandersheim mithilfe des EcoBus bereits ohne eigenes Auto mobil sein. Mit Kleinbussen wurden sie zu Hause abgeholt und an ihr Wunschziel gebracht. Damals stand das Angebot in direkter Konkurrenz zum Linienverkehr, weshalb es wieder eingestellt wurde. Inzwischen hat das Team am Max-Planck-Institut das Konzept weiterentwickelt. Die zugrunde liegende Software soll nun von der EcoBus GmbH zur Markt-

reife gebracht und vermarktet werden. Die Idee ist, dass die Shuttles vor allem im ländlichen Raum gemeinsam mit bestehenden Liniendiensten ein Gesamtsystem bilden, mit dem Passagiere zum Tarif des öffentlichen Personennahverkehrs von Tür zu Tür fahren können. Die EcoBus GmbH bietet ihre Leistungen allen Verkehrsunternehmen an und will in Zukunft neben der Buchung von regionalen Fahrten auch längere Reisen ermöglichen.



FOTO: ECOBUS GMBH

Bus mit Taxifunktion: Mit Kleinbussen werden die Fahrgäste zu Hause abgeholt und an ihr Wunschziel gebracht.

[www.mpg.de/17031613](http://www.mpg.de/17031613)

## ZWEI NEUE MAX PLANCK CENTER

Bessere Therapien von Erkrankungen wie Demenz oder Parkinson, aber auch leistungsfähigere Computer und neue Verfahren der künstlichen Intelligenz – das sind die Ziele, die Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler am Max Planck – University of Toronto Centre for Neural Science and Technology verfolgen werden. Das Centre wurde im April 2021 in einer virtuellen Veranstaltung offiziell eröffnet – mit Max-Planck-Präsident Martin Stratmann; dem Präsidenten der Universität Toronto, Meric Gertler; der deutschen Botschafterin in Kanada, Sabine Sparwasser, und Stéphane Dion, dem kanadischen Botschafter in Deutschland. Nur zwei Monate später, im Juni 2021, fiel der Startschuss für ein weiteres Max Planck Center, das Max Planck – Radboud University Center. Im Mittelpunkt stehen Freie-Elektronen-Laser, die infrarotes Licht abgeben. Ihre Einsatzmöglichkeiten reichen von der Biomedizin über die Chemie und Materialwissenschaft bis zur Astrophysik. Laseranlagen dieser Art sind sehr aufwendig, weshalb es weltweit nur wenige gibt – davon je eine am Fritz-Haber-Institut in Berlin und an der Radboud-Universität in Nijmegen. Der Zusammenschluss der beiden Einrichtungen im neuen Center ermöglicht einen intensiven Austausch von Erfahrungen und neuen Ideen für die Infrarotlaser.

[www.mpg.de/16746136](http://www.mpg.de/16746136)  
[www.mpg.de/17048390](http://www.mpg.de/17048390)

# 517 000

Aufrufe der Videos zu *Interstellar* gab es bis Anfang Juli.

## BLOCKBUSTER AUF YOUTUBE

Die Zukunft ist düster, die Menschheit muss die zunehmend unbewohnbare Erde verlassen. Ein Dutzend Astronauten macht sich daher auf die Suche nach einer neuen Heimat im Weltall. Die Exkursion ist unkonventionell, denn die Wagemutigen werden durch ein Wurmloch geschickt. Dieses führt in eine andere Galaxie zu einem Planetensystem um ein schwarzes Loch. Mit seiner spannenden Handlung, den wissenschaftlichen Zutaten und der visuellen Umsetzung wurde der Film *Interstellar* nicht nur ein Publikumserfolg, sondern auch mit einem Oscar ausgezeichnet. Der Astrophysiker und spätere Nobelpreisträger Kip Thorne begleitete die Filmproduktion. Was ist *science*? Was ist *fiction*? In der Reihe *Wissen was mit Doktor Watson*

der Max-Planck-Gesellschaft reist der Youtuber Cedric Engels in Begleitung von Silke Britzen vom Max-Planck-Institut für Radioastronomie und Frank Ohme vom Max-Planck-Institut für Gravitationsphysik in die fünfte Dimension und stellt *Interstellar* auf den physikalischen Prüfstand. Das geschieht im lockeren und erhellenden Gespräch – und macht den Zuschauerinnen und Zuschauern offenbar Spaß: Innerhalb der ersten sieben Wochen wurde das Video mehr als 137 000-mal aufgerufen. Und der erste Teil auf dem Kanal von Doktor Watson erreichte bisher mehr als 380 000 Views.

[www.mpg.de/interstellar01](http://www.mpg.de/interstellar01)  
[www.mpg.de/interstellar02](http://www.mpg.de/interstellar02)

# KURZ NOTIERT

---

FOTO: THE CAPTURE GMBH



Virtueller Tanz: Die Motion-Capture-Technologie der Max-Planck-Ausgründung The Captury erlaubt das Erfassen und Aufzeichnen von Bewegungen ohne Marker und spezielle Geräte.

## BEWEGUNGEN – EINFACH ANALYSIERT

Motion-Capture-Verfahren können Bewegungen erfassen und aufzeichnen, um sie am Computer wiederzugeben, zu analysieren und weiterzuverarbeiten. Die Technik wird häufig in Filmen eingesetzt, um animierte Charaktere zum Leben zu erwecken. In Sport und Medizin lassen sich damit Bewegungsabläufe untersuchen und optimieren sowie Erkrankungen und Operationsfolgen therapieren. Herkömmliche Motion-Capture-Verfahren benötigen in der Regel Spezialkameras sowie hautenge Anzüge mit speziellen Markern, die unangenehm zu tragen sind und natür-

liche Bewegungen verfälschen können. Eine am Max-Planck-Institut für Informatik entwickelte Methode ermöglicht es jedoch, Bewegungen von Menschen in normaler Bekleidung mit normalen Kameras aufzunehmen. Eine spezielle Software analysiert die Bewegungen und überträgt sie auf eine virtuelle Figur. Das 2013 in Saarbrücken gegründete Unternehmen The Captury hat dieses Verfahren zur Marktreife entwickelt und vermarktet es. Die US-Firma Dari Motion hat nun The Captury gekauft und wird die Technik in eine breitere Anwendung bringen. [www.mpg.de/16775434](http://www.mpg.de/16775434)

## FORSCHUNG IN GEBÄRDEN

Wenn sich schwerhörige und gehörlose Menschen wissenschaftlich austauschen wollen, fehlten ihnen bislang für viele wissenschaftliche Begriffe die passenden Fachgebärden. Diese Lücke schließt Sign2MINT. Das Fachgebärdenlexikon, das im Mai 2021 online gegangen ist, wurde am Max-Planck-Institut für Mikrostrukturphysik in Halle mitentwickelt. Es dokumentiert in Deutscher Gebärdensprache Fachgebärden aus den Bereichen Mathematik, Physik, Geowissenschaften, Chemie, Biologie und Medizin. Zum Start bietet eine Datenbank 1135 Fachgebärden als Kurzvideos an, und die Sammlung wächst noch weiter. Die Software von Sign2MINT ermöglicht die Darstellung der Gebärden auf PCs, Tablets und Smartphones. Damit sind die Gebärdenvideos auch mobil nutzbar und können in sozialen Medien wie Whatsapp, Facebook oder Twitter geteilt werden. Ein nennenswerter Teil der Fachgebärden musste extra für das Lexikon von dem Team Sign2MINT entwickelt werden. Das Projekt wird von der Max-Planck-Förderstiftung unterstützt.

[www.mpg.de/16890214](http://www.mpg.de/16890214)

## DAS ÄLTESTE GRAB AFRIKAS

Obwohl sich auf dem afrikanischen Kontinent die frühesten Hinweise auf *Homo sapiens* finden, sind Belege für frühhistorische Bestattungen in Afrika sehr selten. Der Fund eines 78 000 Jahre alten Kinderskeletts am Eingang der Höhle Panga ya Saidi in Kenia war daher eine archäologische Sensation. Das Forschungsteam, darunter Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler des Max-Planck-Instituts für Menschheitsgeschichte, entdeckte Teile der Knochen erstmals 2013 bei Ausgrabungen. Aber erst 2017 wurde die kleine Grube mit dem Skelett vollständig freigelegt, die detaillierte Analyse dauerte weitere Jahre. Demnach wurde das zweieinhalb- bis dreijährige Kind in gebückter Haltung in einem flachen Grab direkt unter dem schützenden Felsüberhang am Eingang der Höhle begraben. Da der Körper auf der rechten Seite mit zur Brust gezogenen Knien lag, gehen die Forschenden davon aus, dass das Begräbnis sorgfältig vorbereitet und der Körper hierfür eng umhüllt wurde. Die Position des Kopfes deutet zudem darauf hin, dass er auf einer Art Kissen ruhte. Vermutlich hat die Gemeinschaft das Kind nach einer Art Ritus bestattet.

[www.mpg.de/16810984](http://www.mpg.de/16810984)



**Brüchige Relikte:** Teile des Skeletts und des Schädels wurden in einem Erdblock aus dem Kindergrab geborgen. Die Funde wurden dann im Labor freigelegt und analysiert.

FOTO: MARTINÓN-TORRES, ET AL., 2021

## SCHUBLADENDENKEN

Ein Stuhl ist ein Stuhl ist ein Stuhl. Diese scheinbar triviale Erkenntnis und die damit verbundene Fähigkeit zur Kategorisierung sind unverzichtbar, wenn wir uns in der Welt zurechtfinden wollen. Denn wenn wir bei jedem Stuhl erst wieder lernen müssten, dass es ein Stuhl ist, wäre das natürlich sehr ineffektiv. Forschende des Max-Planck-Instituts für Neurobiologie in Martinsried haben nun entdeckt, dass auch

Mäuse kategorisieren können. In Verhaltensexperimenten konnten die Tiere Streifenmuster anhand der Breite oder der Orientierung der Streifen in Kategorien einordnen. Die Mäuse erlernten die Regel und sortierten die Muster der richtigen Kategorie zu. Änderten die Forschenden die Sortierregel, ignorierten die Mäuse das zuvor Erlernte und sortierten die Bilder nach der neuen Regel um. Untersuchungen

des Gehirns ergaben, dass im sogenannten präfrontalen Kortex des Mäusegehirns Nervenzellen aktiv werden, wenn die Tiere die Streifenmuster in Kategorien ordnen. Unterschiedliche Gruppen von Nervenzellen reagieren dabei selektiv auf einzelne Kategorien. Die Ergebnisse zeigen, dass nicht nur wir Menschen zu komplexen Denkvorgängen wie Abstraktion fähig sind.

[www.mpg.de/16745001](http://www.mpg.de/16745001)

## DURSTIGE PFLANZEN DURCH VIEL STICKSTOFF

Pflanzen leben nicht von Wasser und Kohlendioxid allein. Sie brauchen auch Stickstoff und Phosphor. In welchem Verhältnis diese Nährstoffe zur Verfügung stehen, bestimmt wesentlich, wie effizient Pflanzen Wasser und Kohlenstoff nutzen. Ein internationales Team um Forschende des Max-Planck-Instituts für Biogeochemie in Jena hat festgestellt, dass mehr Stickstoff alleine kleinstwüchsige Pflanzen in einer halbtrockenen Savanne zwar besser wachsen lässt, aber auch zu höherem Wasserverbrauch führt. Wurden hingegen Stickstoff *und* Phosphor zugeführt, wuchs die Vegetation stärker und nahm mehr Kohlenstoff auf, benötigte aber nicht mehr Wasser. Dass eine unausgewogene Nährstoffbilanz den Durst der Pflanzen verstärkt, lässt sich unter anderem mit der unterschiedlichen Wirkung von Stickstoff und Phosphor auf die Spaltöffnungen erklären. Ob das Verhältnis von Stickstoff und Phosphor auch den Wasserverbrauch von Bäumen beeinflusst, ist noch unklar.

[www.mpg.de/16896805](http://www.mpg.de/16896805)

## MÖNCHSGRASMÜCKEN ZIEHT'S AUF DIE INSEL

Bis vor 50 Jahren verbrachten Mönchsgrasmücken den Winter meist im Mittelmeerraum. Seither werden die Vögel in den Wintermonaten immer häufiger auch in Großbritannien und Irland gesichtet. Von dort treten sie den Frühjahrszug in ihre Brutgebiete etwa zehn Tage vor den im Süden überwinterten Artgenossen an und können so die besten Reviere besetzen. Die neue Zugroute ist wahrscheinlich die Folge der immer milder werdenden Winter und des reichhaltigen Futterangebots in britischen Gärten. Forschende des Max-Planck-Instituts für Evolutionsbiologie in Plön haben nun überraschende Unterschiede zwischen den Vögeln, die verschiedene Winterquartiere nutzen, festgestellt:

Mönchsgrasmücken, die regelmäßig in englischen Gärten gefüttert werden, besitzen demnach geringere Fettreserven. Offenbar müssen sie weniger Energie speichern, da Nahrung in den englischen Gärten durch das angebotene Futter zuverlässig vorhanden ist. Gleichzeitig sind sie so beweglicher und können Räubern leichter entkommen. Darüber hinaus besitzen diese Tiere längere Schnäbel – vermutlich eine Folge des breiteren Futterangebots, das ihnen neben ihrer natürlichen Insektennahrung zur Verfügung steht. Und auch ihre Flügelspitzen sind runder, wahrscheinlich weil sie weniger mobil sind als ihre Artgenossen im Süden.

[www.mpg.de/16715680](http://www.mpg.de/16715680)

11

FOTO: BENEHARO RODRÍGUEZ



Mönchsgrasmücken erschließen sich neue Winterquartiere.

Das Spike-Protein ist mit einem schlanken Stiel an die Membran des Coronavirus gebunden. Die violett dargestellten Bereiche auf der Oberfläche sind nicht durch Zuckermoleküle (grün) geschützt und daher potenzielle Angriffsstellen für Antikörper.

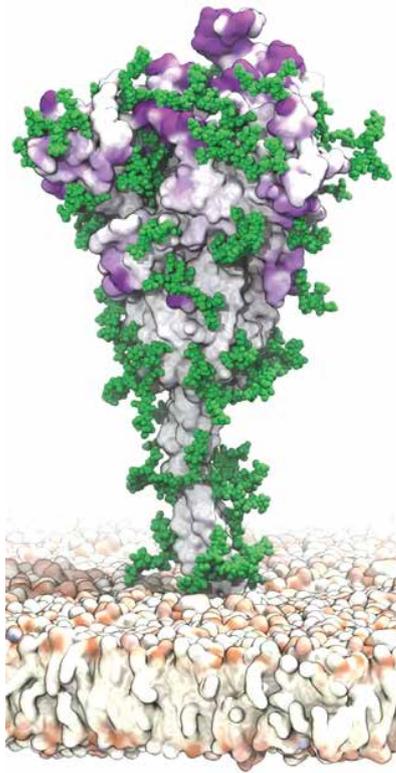


BILD: MPI FÜR BIOPHYSIK / MATEUSZ SIKORA ET AL.

## LÖCHRIGER SCHUTZ

Kaum ein Protein ist je so berühmt geworden wie das Spike-Protein des Coronavirus Sars-CoV-2. Mit dem Protein, das wie ein Stachel von der Virusoberfläche absteht, dockt der Erreger an menschliche Zellen an. Während an den oberen Teil des Spike-Proteins leicht Antikörper des Immunsystems binden können, sind andere Stellen des Proteins durch Zuckerketten, sogenannte Glykane, vor der Erkennung durch das Immunsystem geschützt. Ein detailliertes Modell von Forschenden des Max-Planck-Instituts für Biophysik in Frankfurt zeigt nun, dass die Glykane wie ein dynamischer Schutzschild wirken, mit dem sich das Virus dem menschlichen Immunsystem entziehen kann. Ähnlich wie die Scheibenwischer eines Autos bewegen sich die Zuckermoleküle hin und her und bedecken so einen großen Teil der Proteinoberfläche, auch wenn sie diese zu jedem einzelnen Zeitpunkt nur minimal abdecken. Die Forschenden identifizierten Stellen, die am wenigsten durch die Glykan-Schilde geschützt sind. Diese bislang unbekannt Schwachstellen könnten zur Entwicklung von Impfstoffen gegen neue Virusvarianten genutzt werden.

[www.mpg.de/16654091](http://www.mpg.de/16654091)

## TROMMLER IN EIGENER SACHE

Bei vielen Tieren entscheidet die Körpergröße darüber, wie erfolgreich sie im Wettbewerb mit Artgenossen und beim Werben um Weibchen sind. Damit es gar nicht erst zu einem möglicherweise blutigen Kampf kommt, versuchen sie, dem Kontrahenten ihre Größe unmissverständlich zu demonstrieren. Gorillamännchen tun dies, indem sie sich in schneller Folge mit hohlen Händen auf die Brust schlagen. Vermutlich wollen sie mit dem trommelartigen Klang, der über einen Kilometer weit hörbar ist, konkurrierende Männchen einschüchtern und Weibchen anlocken. Forschende des Max-Planck-Instituts für evolutionäre Anthropologie in Leipzig haben im Volcanoes National Park in Ruanda die Trommelgeräusche von Berggorillas aufgezeichnet und anschließend die Körpergröße der Tiere gemessen. Demnach klingt das Trommeln großer Männchen tiefer als das kleiner Tiere. Gorillamännchen können also anhand der Trommelschläge von Weitem die Größe ihres Kontrahenten zuverlässig abschätzen. Da größere Individuen dominanter sind, können sie dann entscheiden, ob sich eine Auseinandersetzung lohnt. Weibchen wiederum nutzen diese Information wahrscheinlich für die Partnerwahl.

[www.mpg.de/16681380](http://www.mpg.de/16681380)

Männlicher Berggorilla beim Brusttrommeln.



FOTO: DIAN FOSSEY GORILLA FUND

## LAGERFEUER AUF DER SONNE

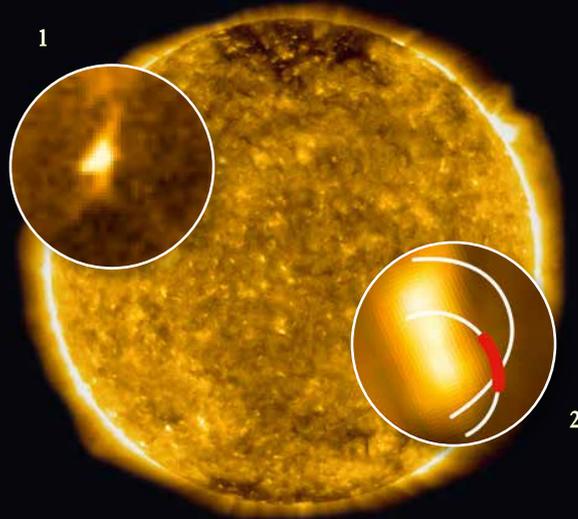
Eine totale Sonnenfinsternis setzt unserem Stern die Krone auf: Um die abgedunkelte Scheibe herum leuchtet dann ein diffuser Kranz. Diese Korona erstreckt sich viele Millionen Kilometer ins All. Seit Jahren rätseln die Forschenden über die Temperatur der äußeren Sonnenhülle: Während sie auf der sichtbaren Sonnenoberfläche bei rund 5500 Grad liegt, steigt sie in der Korona auf mehr als eine Million Grad an. Jetzt hat die europäische Raumsonde

Solar Orbiter kleine, hell aufleuchtende Regionen in der unteren Sonnenkorona entdeckt. Die lediglich 400 bis 4000 Kilometer großen Strahlungsausbrüche treten deutlich häufiger auf als ihre bereits bekannten größeren Verwandten und entstehen wie diese durch eine Art von magnetischem Kurzschluss im Sonnenplasma. Etwa 1500 dieser solaren Lagerfeuer haben die Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler bisher untersucht. Demnach dauern die

Strahlungsausbrüche nur jeweils wenige Minuten und erreichen Temperaturen von mehr als einer Million Grad – und könnten zur Koronaheizung beitragen. Wie stark, hängt laut Hardi Peter vom Max-Planck-Institut für Sonnensystemforschung jedoch nicht nur von ihrer Häufigkeit ab. Ebenso wichtig sei ihr Energieanteil an der Gesamtbilanz der solaren Gashülle – eine Frage, die Computersimulationen beantworten sollen. [www.mpg.de/16786850](http://www.mpg.de/16786850)

Scharfer Blick auf die Sonne: Die Lagerfeuer (1) sind etwa 400 bis 4000 Kilometer große Bereiche in der unteren Korona, die für kurze Zeit extrem kurzwelliges ultraviolettes Licht hoher Intensität abstrahlen. Sie entstehen durch Kurzschlüsse der magnetischen Feldlinien (2).

BILD: SOLAR ORBITER/EUI TEAM/ESA & NASA



13

## AUCH GEBILDETE BAUEN AB

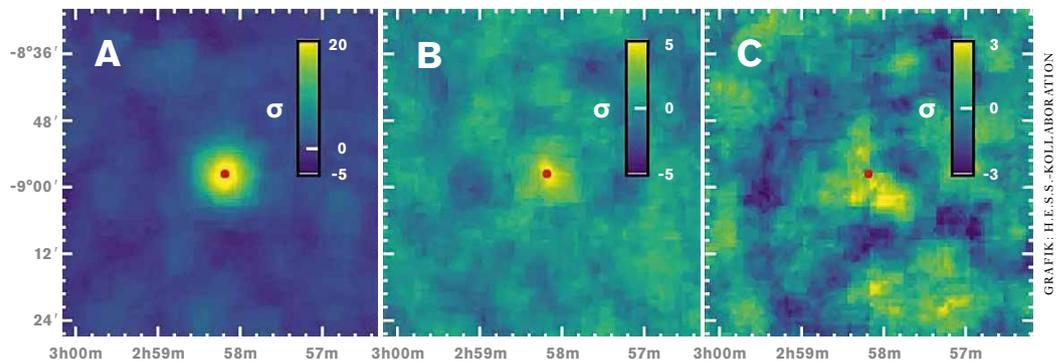
Das menschliche Gehirn schrumpft im Laufe des Erwachsenenalters. Nach bislang vorherrschender wissenschaftlicher Meinung soll jedoch ein höherer Bildungsabschluss die Schrumpfung verlangsamen oder sogar aufhalten. Eine Untersuchung des EU-Konsortiums „Lifebrain“ auf der Grundlage mehrerer groß an-

gelegter Verlaufsstudien hat diese Annahme nun widerlegt. Das Team aus acht Ländern, darunter Forschende des Max-Planck-Instituts für Bildungsforschung, analysierten, die Rolle, die Bildung beim geistigen Abbau spielt. Die Ergebnisse zeigen zwar, dass einige Bereiche des Gehirns größer sind, wenn die Studien-

teilnehmenden mehr Zeit in der Schule und in weiterführenden Bildungseinrichtungen verbracht haben. Mit zunehmendem Alter baut das Hirnvolumen allerdings bei Personen mit höherer Bildung genauso ab wie bei Menschen mit niedrigeren Abschlüssen.

[www.mpg.de/16828246](http://www.mpg.de/16828246)

Verblissener Blitz: Die H.E.S.S.-Himmelskarten von GRB 190829A zeigen das Abklingen des Nachglühens über die drei Beobachtungsnächte (von links).



GRAFIK: H.E.S.S.-KOLLABORATION

## COMPUTER LERNEN, WAS NICHT IST

Wenn ein Hotel keinen Aufzug bietet, dürfte das für viele Gäste relevant sein. Algorithmen von Buchungsportalen berücksichtigen in ihren Antworten auf Suchanfragen bislang jedoch fast nur Angaben zu vorhandenen Merkmalen, also etwa, dass ein Hotelzimmer über einen Balkon oder ein eigenes Bad verfügt. Ein Team des Max-Planck-Instituts für Informatik in Saarbrücken hat nun ein Verfahren entwickelt, mit dem sich auch Aussagen über fehlende Eigenschaften eines Suchobjekts machen lassen. Die Methode kann automatisiert Wissen über nicht zutreffende Merkmale für Datenbanken erzeugen. Entscheidend ist dabei, dass der Algorithmus unter den unzähligen negativen Aussagen, die über ein Objekt möglich sind, die relevanten identifiziert. Zu diesem Zweck orientiert er sich daran, ob bei gleichen Suchanfragen eine Eigenschaft genannt wird, wenn sie zutrifft. Wenn in entsprechenden Antworten also häufig die Aufzüge von Hotels erwähnt werden, schließt der Algorithmus, dass es auch relevant ist, wenn die Unterkunft keinen besitzt. Der Zugriff auf solches Wissen könnte nicht nur die Empfehlungen von Buchungsportalen aussagekräftiger machen, sondern auch die von Internetshops.

[www.mpg.de/16772520](http://www.mpg.de/16772520)

## UNGEWÖHNLICHER GAMMABLITZ

Gammablitze gehören zu den gewaltigsten Ausbrüchen im Universum. Innerhalb von wenigen Sekunden setzen sie so viel Energie frei wie die Sonne während Milliarden von Jahren. Hinter einer solchen Urgewalt steckt vermutlich der Kollaps eines massereichen Sterns zu einem schwarzen Loch. Ein Teil der dabei freigesetzten Energie treibt eine Stoßwelle an, die unter anderem Elektronen auf nahezu Lichtgeschwindigkeit beschleunigt. Dabei zuckt ein hochenergetischer Gammablitz auf. Mit dem H.E.S.S.-Teleskop in Namibia haben Forschende, unter anderem

aus dem Max-Planck-Institut für Kernphysik, das Nachleuchten eines solchen ultraschnellen Gammabursts nachgewiesen. Überraschenderweise ähnelt das Gammaspektrum dieses GRB 190829A genannten Ereignisses dem viel energieärmeren Röntgenspektrum. Auch das Abklingen über drei Tage hinweg verlief in beiden Spektralbereichen parallel. Bisher dachte man, Gamma- und Röntgenstrahlung entstünden in verschiedenen Prozessen und verhielten sich unterschiedlich. Diese Theorie scheint jetzt infrage zu stehen.

[www.mpg.de/16993438](http://www.mpg.de/16993438)

## RISIKOFAKTOREN VERLIEREN IM ALTER AN GEWICHT

Wer raucht, an Bluthochdruck, Übergewicht und Diabetes leidet, ist nicht nur einer höheren Gefahr ausgesetzt, einen Schlaganfall oder Herzinfarkt zu erleiden oder dement zu werden. Für ihn oder sie steigt auch das Risiko, von einer depressiven Verstimmung oder Depression betroffen zu sein. Je mehr Risikofaktoren eine Person dabei erfüllt, desto wahrscheinlicher wird das. Bislang war jedoch unklar, ob diese Wahrscheinlichkeit auch vom Alter abhängt. Frühere Studien hatten bereits für andere Krankheiten

wie Demenz oder Schlaganfall gezeigt, dass eine Kombination mehrerer Risikofaktoren im Alter zwischen 40 und 65 Jahren häufiger dazu führt, dass die Krankheit ausbricht, als im hohen Alter. Wie Forschende des Max-Planck-Instituts für Kognitions- und Neurowissenschaften in Leipzig und der Universität Münster nun herausfanden, gilt das ebenso für Depressionen. Bei Menschen, die über 65 Jahre alt sind, verlieren auch dafür die Risikofaktoren an Gewicht.

[www.mpg.de/16899845](http://www.mpg.de/16899845)

# NANOSCHUTZ FÜR AKKUS

Festkörperbatterien könnten Elektroautos zu längeren Reichweiten verhelfen als die derzeit gebräuchlichen Lithiumbatterien. Sie sind zudem sicherer, allerdings noch nicht langlebig genug. Ein Team des Fritz-Haber-Instituts, der TU München und des Forschungszentrums Jülich weist jetzt jedoch einen Weg, die Lebensdauer der Feststoffbatterien zu erhöhen. Die Forschenden haben festgestellt, dass ungeordnete Nanoschichten an den Grenzen zwischen den winzigen Kristallkörnern des Feststoffelektrolyten die Batterien stabilisieren können. Um einen möglichst effizienten Ladungstransport durch den Elektrolyten zu ermöglichen, versuchen Forschende bisher, die ungeordneten Schichten möglichst dünn zu machen. Die neuen Erkenntnisse könnten sie jedoch umdenken lassen. Denn die Schichten versperren Elektronen den Weg, die zum einen unmittelbar Kurzschlüsse bewirken und zum anderen zum Wachstum metallischer Verästelungen beitragen können. Letztere führen ebenfalls zu Kurzschlüssen und zerstören die Batterie. Es könnte also sinnvoll sein, bei der Dicke der Nanoschichten einen Kompromiss zwischen effizientem Ladungstransport und Schutz vor Kurzschlüssen zu suchen.

[www.mpg.de/17016734](http://www.mpg.de/17016734)

Elektronenmikroskopisches Bild eines Feststoffelektrolyten: Die Kristallkörner weisen eine geordnete Struktur auf (links und rechts), die Grenzschicht eine ungeordnete. Der Ausschnitt in der Mitte stellt eine Simulation dar.

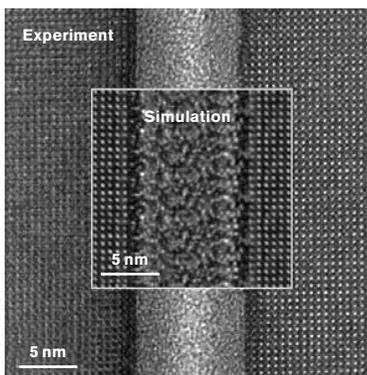


BILD: STEGMAIER ET AL., ADVANCED ENERGY MATERIALS 2021



FOTO: LIZA SUMMER/PEXELS

Schreiende Unklarheit: Die Lautäußerungen von intensiven Gefühlen lassen sich oft nicht mehr eindeutig interpretieren.

15

## STARKE GEFÜHLE – SCHWER ZU VERSTEHEN

Der Klang einer Stimme verrät viel über den Gefühlszustand eines Menschen. Doch wie gut können wir Gefühlsäußerungen anderer deuten? Ein Forschungsteam des Max-Planck-Instituts für empirische Ästhetik hat gemeinsam mit Forschenden aus New York erstmals systematisch den Zusammenhang zwischen emotionaler Intensität und den damit zusammenhängenden Lautäußerungen untersucht. Sie sammelten eine Vielzahl nonverbaler Laute wie Schreien, Lachen, Seufzen, Ächzen oder Stöhnen, die verschiedene positive und negative Emotionen ausdrücken und in

ihrer Stärke von minimal bis maximal intensiv reichen. Anschließend untersuchten sie, wie eindeutig die Zuhörenden diese Laute abhängig von ihrer emotionalen Intensität verstehen. Zwar ließen sich zunächst, wie erwartet, die Emotionen mit steigender Intensität besser einordnen. Doch je intensiver der Gefühlsausdruck wurde, desto geringer stieg das Verständnis an. Bei extrem starken Emotionen sank es sogar drastisch. Die intensivsten Gefühle waren also in ihrem Ausdruck am schwierigsten zu deuten.

[www.mpg.de/17022007](http://www.mpg.de/17022007)

---

# CHINA – EIN PARTNER IM WANDEL

Die Max-Planck-Gesellschaft pflegt seit bald 50 Jahren enge Kontakte zu China. Das Land hat sich in den vergangenen Jahren rasant entwickelt und ist inzwischen in der Forschung auf Augenhöhe mit Europa und den USA. Damit ergeben sich ganz neue Herausforderungen für die wissenschaftliche Zusammenarbeit, wie Max-Planck-Vizepräsident Klaus Blaum beschreibt.

16

Auf einem Schwarz-Weiß-Foto sieht man zwei Männer nebeneinander auf einem Sofa sitzen, über ihnen das Bild des „Großen Vorsitzenden“ der Kommunistischen Partei Chinas, Mao Zedong. Das Foto entstand im April 1974 in Peking und zeigt den damaligen Max-Planck-Präsidenten Reimar Lüst im Gespräch mit dem Vizepräsidenten der Chinesischen Akademie der Wissenschaften, Wu Youxun. Dieses Treffen legte den Grundstein für eine außerordentlich erfolgreiche Zusammenarbeit in den folgenden Jahrzehnten, die sicher auch zum wissenschaftlichen Aufstieg Chinas beigetragen hat.

Den Beginn der Kooperation prägten vor allem die Aus- und Weiterbildung von Stipendiatinnen und Stipendiaten, die zunächst nur in kleiner Zahl nach Deutschland kamen. Mit Beginn der 1980er-Jahre war die Max-Planck-Gesellschaft dann schon mit einem eigenen Gästelabor am Institut für Zellbiologie der Chinesischen Akademie der Wissenschaften in Shanghai präsent und eröffnete so zahlreichen Forschenden aus Deutschland die Möglichkeit, vor Ort gemeinsam mit chinesischen Kolleginnen und Kollegen zu arbeiten und den chinesischen Nachwuchs zu unterrichten. 1995 wurden dann erstmals Selbstständige Nachwuchsgruppen nach dem Vorbild der Max-Planck-Forschungsgruppen eingerichtet. Sie sollten für junge, im Ausland lebende chinesische Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler die Rückkehr nach China attraktiv machen. Das Programm führte wichtige Elemente wie eine internationale Ausschreibung sowie eine unabhängige Begutachtung durch internatio-

→

# ZUR SACHE

KLAUS  
BLAUM

Klaus Blaum studierte Physik an der Universität Mainz und promovierte dort im Jahr 2000. Danach forschte er am Cern, von 2002 bis 2004 als Projektleiter für „Massenspektrometrie exotischer Kerne“. Ab 2004 übernahm er eine Helmholtz-Hochschul-Nachwuchsgruppe an der Universität Mainz und habilitierte sich 2006 über Hochpräzisionsmassenspektrometrie mit Penningfallen und Speicherringen. Im Oktober 2007 wurde Blaum als Direktor und Wissenschaftliches Mitglied an das Max-Planck-Institut für Kernphysik in Heidelberg berufen. Seit Juli 2020 ist er Vizepräsident der Max-Planck-Gesellschaft und unter anderem zuständig für die Zusammenarbeit mit China. Klaus Blaum selber pflegt seit vielen Jahren enge wissenschaftliche Kooperationen im asiatischen Raum.



ILLUSTRATION: SOPHIE KETTERER FÜR MPG

---

nale Fachbeiräte ein. Junge Forschende mit vielversprechenden Karriereperspektiven in den USA waren nun bereit, diese zugunsten dieser Gruppenleitungen aufzugeben. Rund ein Drittel aller Führungspositionen im Bereich Forschung und Entwicklung in China sind heute mit Personen besetzt, die in Deutschland wissenschaftlich ausgebildet wurden.

Im Jahre 2014, auf der Feier zum 40-jährigen Jubiläum der Zusammenarbeit der Max-Planck-Gesellschaft mit China, erklärte der damalige Max-Planck-Präsident Peter Gruss: „In den Anfängen unserer Zusammenarbeit waren die Verhältnisse alles andere als stabil, denn die Anfänge lagen mitten im Kalten Krieg und in einer Zeit, in der die Kulturrevolution das Leben in China beherrschte. Der Aufbau einer Partnerschaft zwischen Deutschland und China erforderte damals eine Menge Mut und Weitsicht.“ Wie viel Mut und Weitsicht wir heute unter erneut sich ändernden politischen Rahmenbedingungen benötigen, darauf möchte ich später noch eingehen. Doch zunächst möchte ich darauf schauen, wie sich China in den vergangenen zehn Jahren verändert hat – und zwar vor allem im Bereich der Forschung.

China ist heute die zweitgrößte Volkswirtschaft der Welt, hinter den USA. Betrug der Anteil Chinas am Welthandel 1995 lediglich 2,3 Prozent, so lag er 2019 bereits bei 10 Prozent (Schätzungen der UNO). 377 Milliarden US-Dollar hat China laut Bloomberg im Jahr 2020 in Forschung und Entwicklung investiert, das waren 2,4 Prozent seines BIP. Damit hat das Land zum Euroraum aufgeschlossen. Und diese Entwicklung wird sich in den

kommenden Jahren beschleunigen. Laut dem in Peking jüngst verabschiedeten Fünfjahresplan für 2021 bis 2026 wird China sein Forschungs- und Entwicklungsbudget auf den Stand der USA erhöhen und damit die Weichen für die kommende wissenschaftliche Entwicklung stellen. Allein in der Grundlagenforschung steigen die Ausgaben in diesem Jahr um fast elf Prozent. Dabei nimmt China vor allem zukünftige technologische Innovationen in den Blick. Die Grundlagenforschung konzentriert sich daher auf Themen wie Quanteninformationstechnik und künstliche Intelligenz. Schwerpunkte werden auch die Informations- und Kommunikationstechnologien sein, die Halbleitertechnik, die Biotechnologie, hier insbesondere die Hirn- und die Genforschung, die Erforschung des Weltraums, der Tiefsee und der Polargebiete sowie neue Materialien und Rohstoffe.

Dieses große Investment in Forschung schlägt sich auch in anderen Zahlen nieder: Mittlerweile forschen in China 1,82 Millionen Menschen und damit mehr als in jedem anderen Land der Welt. Bezogen auf die Gesamtbevölkerung Chinas sind das allerdings nur circa 0,1 Prozent. Zum Vergleich: Der Anteil der Forschenden in Deutschland liegt bei 0,5 Prozent. Zudem ist der Bildungsstand in China nicht überall gleich – in weiten Landstrichen (im Hinterland im Westen und Norden Chinas) ist er sehr niedrig. Die staatliche Führung befürchtet daher, dass der Rückstand der ländlichen Regionen in naher Zukunft den Aufstieg Chinas negativ

ALLEIN IN DER  
GRUNDLAGEN-  
FORSCHUNG  
STEIGERT  
CHINA SEINE  
AUSGABEN  
UM FAST  
ELF PROZENT

beeinflussen könnte. Und auch bei der Zahl der wissenschaftlichen Publikationen hat China aufgeholt: 2017 produzierte das Land 19 Prozent aller wissenschaftlichen Publikationen weltweit und damit mehr als die USA. Spitzenreiter sind allerdings die Länder der Europäischen Union, die gemeinsam einen Anteil von 26 Prozent an den weltweiten Veröffentlichungen haben. Was aber viel wichtiger ist: Es ist schon lange nicht mehr nur Masse, was China produziert. Im renommierten *Nature Index* beispielsweise, der die Zahl der Top-Publikationen auswertet, steht die Chinesische Akademie der Wissenschaften inzwischen auf Platz eins, vor der Harvard University und der Max-Planck-Gesellschaft. Neun von zehn Universitäten, die sich laut dem *Index* am stärksten verbessert haben, sind in China. Und in bestimmten Fachgebieten stellt China heute schon das Gros der meistzitierten wissenschaftlichen Publikationen. Das gilt für die Computerwissenschaften und die Kybernetik mit 80 Prozent und für Automationskontrolle, Nanowissenschaften, Nanotechnologie und Elektrochemie mit 50 Prozent.

Es ist also keine Frage mehr: China ist wissenschaftlich auf Augenhöhe mit den USA und Europa. Die chinesischen Regierungen haben die Wissenschaft jahrzehntelang gefördert, indem sie sehr genau hingeschaut haben, was den Westen und andere Teile der Welt erfolgreich gemacht hat – durch Beobachtung, Übernahme und Anpassung an die chinesischen Bedingungen. Und sie tun dies mit einer sehr langfristigen Perspektive. Während im Jahr 2000 nur 20 Prozent der im Ausland studierenden Chinesinnen und Chinesen nach beendetem Studium in die Heimat zurückkehrten, sind es heute 80 Prozent. China ist attraktiv für die eigenen Leute. Dazu beigetragen haben auch das 100-Talente-Programm der Chinesischen Akademie der Wissenschaften, im Rahmen dessen vor allem junge Leute mit großem Potenzial aus dem In- und Ausland rekrutiert werden, sowie das 1000-Talente-Programm der chinesischen Regierung – Letzteres stellt Ressourcen für die dauerhafte Einstellung von Spitzenkräften an Chinas Hochschulen bereit, aber auch für die befristete Ernennung internationaler Expertinnen und Experten, die an führenden Universitäten oder Forschungseinrichtungen im Ausland tätig sind.

19

Wir haben in der Max-Planck-Gesellschaft pro Jahr etwa 1400 wissenschaftliche Gäste aus China. Das ist die größte Kohorte ausländischer Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler bei insgesamt 9000 Gästen, die jedes Jahr bei uns arbeiten. 15 Prozent unserer Postdocs und PhDs kommen aus China. Viele Postdocs kehren nach China zurück und bleiben, wenn es sich um besonders profilierte Nachwuchstalente handelt, für fünf Jahre noch über eine Partnergruppe mit dem Max-Planck-Institut verbunden, an dem sie zuvor geforscht haben. Von den derzeit 36 ehemaligen Partnergruppenleitungen sind inzwischen 32 auf leitende wissenschaftliche Positionen in China berufen worden. Diese Personen sind Teil eines über die Jahre hinweg in China etablierten Netzwerks, auf das wir zurückgreifen können. Darüber hinaus haben wir mit China heute knapp 200 wissenschaftliche Kooperationsprojekte, darunter Kollaborationen des Max-Planck-Instituts für Chemie zu Luftverschmutzung und Klima-

→

---

## CHINA INVESTIERT MEHR UND MEHR IN EIGENE ANSPRUCHSVOLLE WISSENSCHAFTLICHE INFRASTRUKTUR

auswirkungen im Yangtze-Flussdelta, die gemeinsame Suche nach neuen Materialien mit neuartigen Funktionalitäten mit dem Max-Planck-Institut für Festkörperforschung oder auch Projekte des Max-Planck-Instituts für Psycholinguistik über die Synthese mechanistischer und neurobiologischer Modelle von Sprache. Dabei ist die Chinesische Akademie der Wissenschaften weiterhin unser wichtigster Kooperationspartner. In Gebieten wie der Radioastronomie beziehungsweise der Gravitationswellenforschung, der biophysikalischen Chemie sowie der Ökologie und den Verhaltenswissenschaften erhalten Max-Planck-Teams privilegierten Zugang zu teils weltweit einzigartigen und exzellenten Infrastrukturen der Chinesischen Akademie der Wissenschaften. Von diesen Kollaborationen profitieren beide Seiten.

China investiert zunehmend in eigene anspruchsvolle wissenschaftliche Infrastruktur. So baut das Land für die Materialwissenschaften seit etwa zwei Jahren eine Hochenergie-Synchrotron-Strahlungsquelle auf, die in etwa dem entspricht, was am Desy in Hamburg Mitte der 2020er-Jahre erreicht wird. Im Bereich der Astrophysik und Astronomie hat China das mit 500 Metern Hauptspiegeldurchmesser weltweit größte Radioteleskop in Betrieb genommen. Zum Vergleich: Unser Radioteleskop in Effelsberg hat etwa 100 Meter Spiegeldurchmesser, ist dafür allerdings frei beweglich. Im Bau befindet sich auch eine neue Interferometer-Anlage, die der experimentellen Erforschung von Gravitationswellen dienen soll und auf einer völlig neuen Physik basiert, sowie eine Schwerionenbeschleunigeranlage zur Erzeugung von Radionukliden für Grundlagenforschung und medizinische Anwendungen, ähnlich dem Fair-Projekt in Darmstadt. Und in der Teilchenphysik ist ein Circular Electron Positron Collider in der Provinz Hebei in Planung mit einer Beschleunigungslänge von 50 bis 70 Kilometern. Auch hier ein Vergleich: Der Large Hadron Collider am Cern in Genf hat 27 Kilometer Länge.

Man erkennt, dass China auf zahlreichen Forschungsgebieten mit Großforschungsanlagen in die Weltspitze drängt, deren Entwickler häufig im Westen, viele bei Max-Planck, ausgebildet wurden. China weiß aber auch, dass Wissenschaftsfortschritt transnationale Zusammenarbeit erfordert. Es ist daher auf die Akzeptanz durch das globale Wissenschaftssystem angewiesen. Und wir dürfen nicht vergessen, dass es eine Vielzahl globaler Herausforderungen gibt, die wir nur gemeinsam, mithilfe internationaler Wissenschaftskooperationen, werden bewältigen können. Die globale Pandemie hat uns das gerade eindrücklich vor Augen geführt. Selten zuvor hat die internationale Wissenschaftsgemeinde so schnell und umfangreich Wissen miteinander geteilt, um Lösungen zur Eindämmung der Pandemie zu entwickeln. Der Klimawandel und die Frage, wie wir die wachsende Weltbevölkerung mit CO<sub>2</sub>-neutraler Energie versorgen können, ist die andere große Herausforderung, die wir nur durch Bündelung der Kräfte weltweit meistern werden. Vor diesem Hintergrund ist eine strategische Zusammenarbeit mit China auf bestimmten Forschungsfeldern unverzichtbar. Aber so fruchtbar die Zusammenarbeit mit China im

Bereich der Naturwissenschaften ist, insbesondere auf den Forschungsgebieten der Chemisch-Physikalischen-Sektion, für die ich als Vizepräsident zuständig bin, so herausfordernd ist die Zusammenarbeit in anderen, etwa sozialwissenschaftlichen Forschungsfeldern. Hier sehen wir in den letzten Jahren eine deutliche Verschlechterung. So wurden beispielsweise in den 1990er-Jahren begonnene Forschungsarbeiten zu den Lebensumständen der Uiguren in Xinjiang zunehmend eingeschränkt, seit 2016 ist praktisch keine Forschung vor Ort mehr möglich, da unsere Wissenschaftler seither keine Forschungsgenehmigung für diese Region erhalten. Gleichwohl werden die Forschungsergebnisse weiter publiziert, auch wenn das der chinesischen Administration gegebenenfalls nicht gefällt. Einer Art Selbstzensur werden wir uns in der Max-Planck-Gesellschaft nicht unterwerfen. Nicht jede Entwicklung in China stimmt uns daher optimistisch. Während in den Naturwissenschaften die Exzellenz nach internationalem Maßstab im Vordergrund steht – etwas, das den Max-Planck-Prinzipien sehr entgegenkommt –, werden Disziplinen wie die Sozialwissenschaften zur Bearbeitung „chinesischer Theorien“ und zu einer vornehmlich angewandten Forschung zur Lösung nationaler Probleme aufgefordert. Das erschwert eine internationale Anknüpfung. Darüber hinaus ist es für manche unserer Kolleginnen und Kollegen in den Geistes-, Sozial- und Humanwissenschaften schwieriger geworden, Feldforschung effektiv durchzuführen, weil die Akteure in China bei Forschung etwa zu politischen Prozessen vorsichtiger geworden sind und es immer weniger Gesprächspartner und Gelegenheiten zum Austausch vor Ort sowie Zugang zu Daten und Material gibt.

21

NICHT JEDE  
ENTWICKLUNG  
IN CHINA  
STIMMT UNS  
DAHER  
OPTIMISTISCH

Die Verschärfung des Außenwirtschaftsrechts der Europäischen Union sowie die US-amerikanischen Sanktionen gegenüber China, die dazu geführt haben, dass bestimmte US-Technologien nicht ohne Genehmigung an Einrichtungen in China ausgeliefert werden dürfen, können die Kollaborationsmöglichkeiten deutscher Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler in China ebenfalls erheblich einschränken. Mit großer Aufmerksamkeit verfolgen wir auch die chinesischen Gesetzgebungsverfahren zu Forschung und Entwicklung. Hier plant die Volksrepublik eine Reihe von Gesetzen, die direkte Auswirkungen auf Forschungskooperationen haben könnten, zum Beispiel auf die Verwendung von Forschungsdaten, die in gemeinsamen Projekten in China generiert wurden. Sollten solche Gesetze tatsächlich in der vorliegenden Form in Kraft treten, werden Forschungskooperationen mit unseren chinesischen Partnern sicher deutlich schwieriger.

Wie also sollen wir nun umgehen mit diesem aufstrebenden China? Zunächst einmal werden wir mit der Ambivalenz leben müssen und trotz allem die Kooperation in all jenen Bereichen suchen, in denen dies sinnvoll und für beide Seiten fruchtbar ist. Wir brauchen, wie schon 1974, Mut und Weitsicht – Mut, um für unsere eigenen Werte und Standards einzustehen, und Weitsicht, um die Partnerschaft mit China klug und fair fortzuführen. Wir brauchen Transparenz in der Ausgestaltung und im Management

→

unserer Partnerschaft. Der Wissenstransfer darf nicht einseitig sein. Und wir müssen ein gemeinsames Verständnis von „guter wissenschaftlicher Praxis“ sicherstellen, insbesondere im Sinne von Forschungsethik (etwa bei der Erhebung personenbezogener Forschungsdaten), bei den Risiken von Dual Use und dem Schutz intellektuellen Eigentums. Wir sollten uns auch nicht scheuen, immer wieder für unsere Vorstellung von Wissenschaftsfreiheit einzutreten. Nicht umsonst stand die Kampagne der deutschen Wissenschaftsorganisationen zum 70-jährigen Jubiläum der im deutschen Grundgesetz verfassungsrechtlich verankerten Wissenschaftsfreiheit unter dem Leitsatz „Freiheit ist unser System“.

In seiner Sitzung im März 2021 hat der Senat der Max-Planck-Gesellschaft Leitlinien zur Ausgestaltung der internationalen Kooperation beschlossen. Sie sollen unseren Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftlern bei Auslandskooperationen im Spannungsfeld von Wissenschaftsfreiheit und rechtlicher sowie ethischer Verantwortung Orientierung geben. Zwei Max-Planck-eigene Gremien – der Ethikrat und die Kommission für die Ethik sicherheitsrelevanter Forschung – stehen allen Max-Planck-Forschenden beratend zur Seite. Wir müssen uns mit Fragen zu Dual

Use auseinandersetzen, das heißt mit Forschungsarbeiten, die Ergebnisse oder Technologien hervorbringen können, die von Dritten missbraucht werden können. Forschungsarbeiten, welche Beiträge zu Überwachungstechnologien liefern können, wären hier ein Beispiel. Dieser Leitfaden soll dafür sensibilisieren, nicht blauäugig in Kooperationen hineinzugehen, sich gut zu überlegen, was man mit dieser Kooperation erreichen will, und gegebenenfalls auch Nein zu sagen, wenn die Bedingungen nicht passen oder aber zu viele Kompromisse gemacht werden müssen.

Darüber hinaus müssen wir die China-Kompetenz in der Max-Planck-Gesellschaft auf allen Ebenen weiter stärken und bündeln und die Kommunikation sicherstellen über das, was in der Zusammenarbeit mit China passiert. Es geht um einen Erfahrungsaustausch, um die Bewertung aktueller Entwicklungen. Dafür hat die Max-Planck-Gesellschaft einen „China Roundtable“ unter meiner Leitung eingerichtet, also einen internen Expertenrat, der sich unter anderem mit Best-Practice-Beispielen in der Kooperation mit China beschäftigt. Vom Sommer 2021 an werden wir auch Vorträge und Workshops für alle wissenschaftlich Mitarbeitenden der Max-Planck-Gesellschaft zur Stärkung der China-Kompetenz anbieten. Und wir werden uns mehr darum bemühen, unseren Nachwuchs auch für einen Forschungsaufenthalt in China zu motivieren. Denn tatsächlich kennen wesentlich mehr junge Chinesen Europa und die Vereinigten Staaten als umgekehrt junge Europäer China. Wir müssen das Interesse an China und an einer Zusammenarbeit mit China steigern – unser Blick geht allzu häufig nur in die USA – und uns mit den kulturellen Eigenheiten Chinas vertraut machen. Unsere Kooperationen mit China haben über fast 50 Jahre hinweg sehr gute, aber auch schwierigere Zeiten erlebt. So waren auch die Ereignisse auf dem Platz des Himmlischen Friedens im Juni 1989 eine Belastung für die Beziehungen. Im Gegensatz

22

## WIR MÜSSEN DIE CHINA-KOMPE- TENZ AUF ALLEN EBENEN WEITER STÄRKEN UND BÜNDELN

zu anderen internationalen Organisationen haben wir die Kontakte zu China damals jedoch nicht ausgesetzt. Wir haben uns dabei von dem Gedanken leiten lassen, dass die restriktiven Maßnahmen der internationalen Gemeinschaft gerade jene treffen, die unter den damaligen Vorkommnissen in China ohnehin schon zu leiden hatten. Offizielle Kontakte wurden zwar zunächst vermieden, die wissenschaftlichen Programme und Projekte aber so weit wie möglich fortgeführt. Dabei ist Vertrauen entstanden, das vor allem in China ein wichtiges soziales Kapital für Kooperationen ist.

Wir werden die weiteren Entwicklungen in China auch nur in, mit und durch Kooperation beeinflussen. Über Wissenschaftskontakte kann man Türen offen halten, die man in anderen Bereichen aus guten Gründen geschlossen halten muss oder aber die verschlossen sind. Die Max-Planck-Gesellschaft hat damit viel Erfahrung gesammelt, und ich bin optimistisch, dass insbesondere individuelle wissenschaftliche Kontakte ein Motor bleiben werden für die deutsch-chinesische Zusammenarbeit.



ANZEIGE



**GESELLSCHAFT BRAUCHT WISSENSCHAFT.  
WISSENSCHAFT BRAUCHT GESELLSCHAFT.**

**DER DIALOG, EIN FORUM, DIE DUZ.**

**LESEN SIE DIE DUZ IM PROBEABONNEMENT:**

**3 AUSGABEN FÜR 15 EURO**

[SHOP.DUZ-MEDIENHAUS.DE/DM-TESTEN.HTML](http://SHOP.DUZ-MEDIENHAUS.DE/DM-TESTEN.HTML)



//  
*unabhängig und  
dialogorientiert*

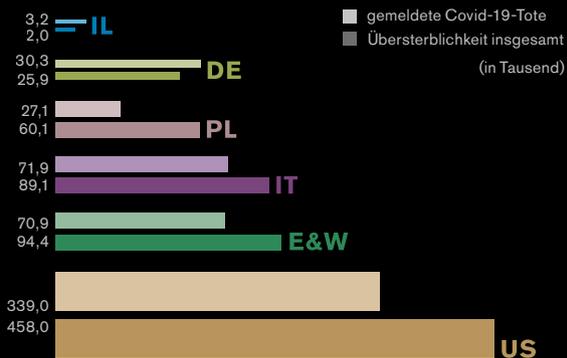


# DIE TOTEN DES ERSTEN CORONA-JAHRES

**Covid-19 kostet Millionen Menschen das Leben. Das wahre Ausmaß der Pandemie zeigt sich in der sogenannten Übersterblichkeit, also dem Vergleich zwischen den gemeldeten Sterbedaten 2020 und den erwartbaren Todesfällen, die sich aus der Entwicklung der vorhergehenden Jahre ergeben. Ein Team des Max-Planck-Instituts für demografische Forschung hat diesen Vergleich gezogen. Die Ergebnisse zeigen: Die Zahl der Toten hängt nicht nur von der Entwicklung der Infektionszahlen und den getroffenen Schutzmaßnahmen ab, sondern auch von Faktoren wie der Leistungsfähigkeit des Gesundheitssystems und der Altersstruktur der Bevölkerung.**

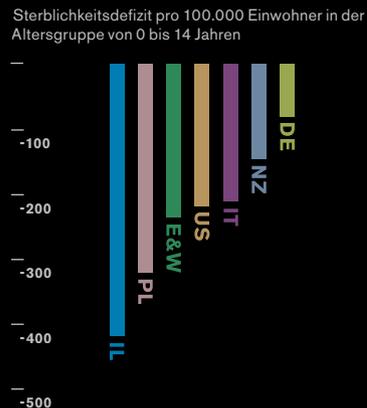
24

## GEMELDETE UND TATSÄCHLICHE STERBEFÄLLE



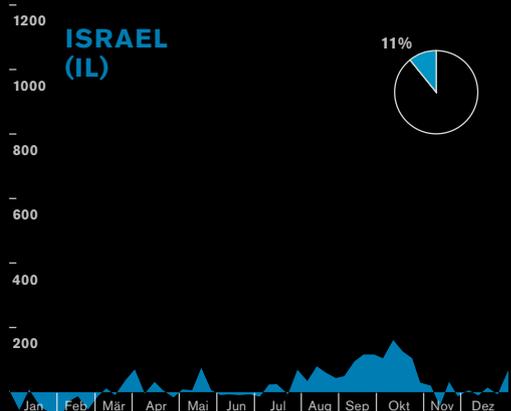
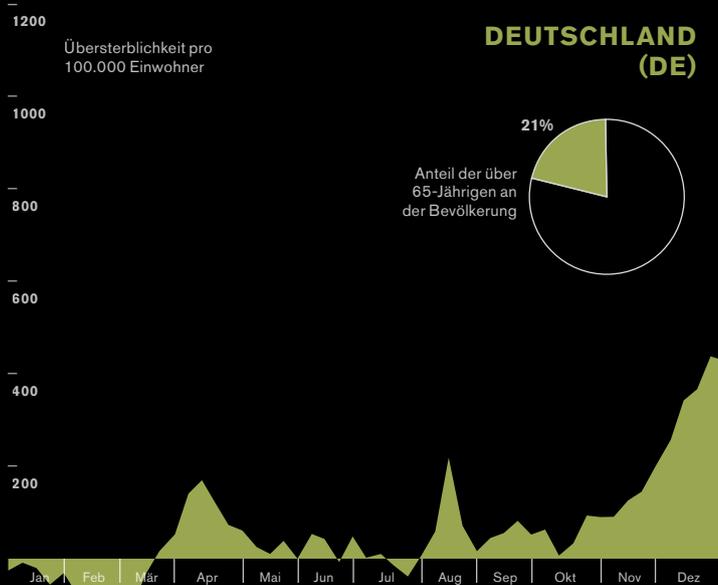
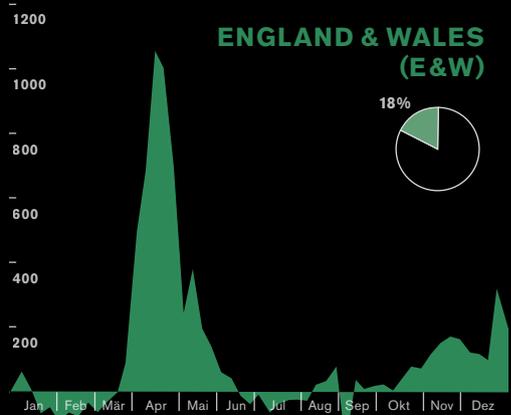
Die Pandemie hat vielerorts mehr Opfer gefordert als gemeldet, etwa durch überlastete Gesundheitssysteme. Andererseits haben Maßnahmen wie Masketragen, Kontakt- und Mobilitätseinschränkungen auch Todesfälle durch andere Infektionen und Unfälle verhindert. Dieser Effekt zeigt sich etwa in Deutschland und Israel, wo die Zahl der gemeldeten Covid-19-Toten höher war als die Übersterblichkeit (oben). Auch die gesunkenen Sterbezahlen bei Kindern und Jugendlichen sind vermutlich auf diese Ursache zurückzuführen (rechts).

## WENIGER KINDER GESTORBEN



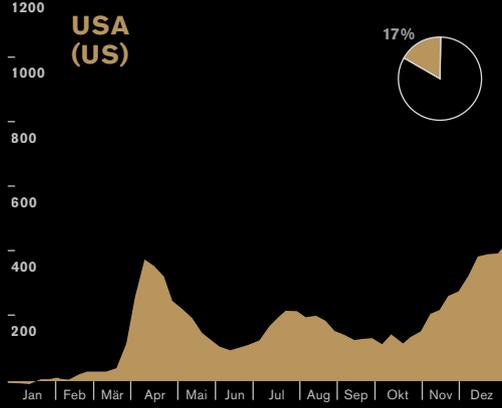
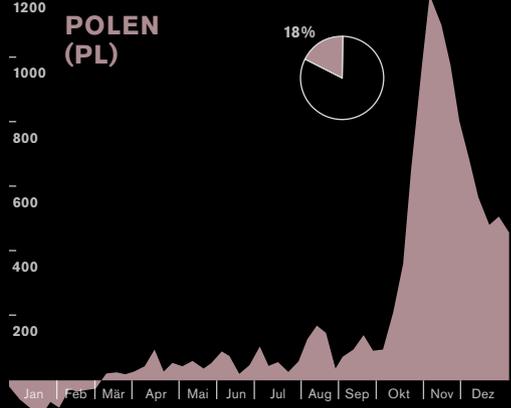
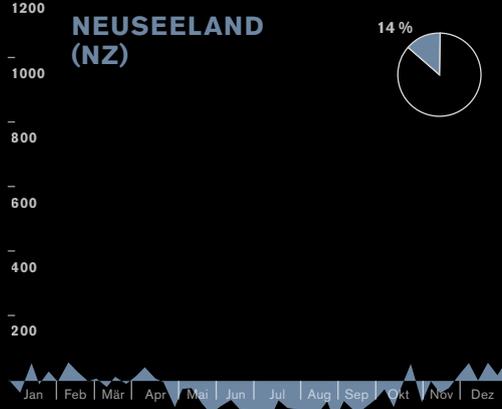
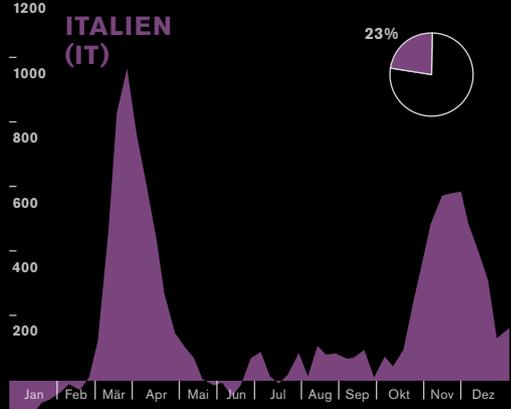
GRAFIK: GGO NACHI N. ISLAM ET AL.; BMJ 2021; 373: N1137

TODESFALLZAHLEN 2020 IM VERGLEICH



Die Grafiken zeigen für das Jahr 2020, wie viele Todesfälle es gerechnet auf 100.000 Einwohner pro Kalenderwoche mehr oder weniger gab als im Durchschnitt der Jahre 2016 bis 2019. Auffällig ist Neuseeland, dort starben nur 25 Menschen an Covid-19. Die recht geringe Übersterblichkeit in Israel, das stark von der Pandemie betroffen war, hängt dagegen wohl mit der eher jungen Bevölkerung zusammen. Zusätzlich zeigen sich Effekte jenseits von Corona: So starben in Deutschland im August viele Menschen durch eine Hitzewelle.

Interaktive Seite: [mpidr.shinyapps.io/stmortality](https://mpidr.shinyapps.io/stmortality)



# IM FOKUS

---

... UND JETZT ALLE!

26 | Die ganze Affenschar auf Kurs

34 | Selten mutig

40 | Die Geburt des Kollektivs



Weibliche Anubispaviane mit Jungtier. Die Weibchen bleiben in der Regel ihr ganzes Leben in ihrer Horde. Sie haben eine feste Position innerhalb der Hierarchie dieser Truppe, die sie an ihre Töchter weitergeben. Bis zum Alter von drei Monaten halten sich die Jungen am Bauch ihrer Mütter fest, später reiten sie wie Jockeys auf deren Rücken.

# DIE GANZE AFFENSCHAR AUF KURS

TEXT: CARLA AVOLIO

27

Paviane durchstreifen in großen Gruppen die Savanne auf der Suche nach Nahrung. Meg Crofoot, Direktorin am Max-Planck-Institut für Verhaltensbiologie in Konstanz, hat in Kenia eine Horde Anubispaviane fast ein Jahrzehnt lang beobachtet. Sie will verstehen, was die Gemeinschaft zusammenhält.

Es ist fünf Uhr früh im Mpala-Forschungszentrum in Kenia, und die Pavianhorde ist nirgends zu sehen. Die kühlen Temperaturen vor der Morgendämmerung halten sie in ihren Schlafnestern in den Bäumen hoch über dem Boden. Zu zweit oder zu dritt zusammengekauert, wärmen die 50 Anubispaviane einander gegenseitig. Sie sind dort sicher vor Leoparden, die auf dem Boden Jagd auf sie machen. Als sich die Sonne über den Horizont schiebt, kommt Leben in die Gruppe. Und das Spiel der Kompromisse beginnt. Bei dem Begriff Kompromiss denkt man nicht unbedingt an Paviane. Üblicherweise konzentriert sich die Vorstellung von den in Gruppen lebenden Tieren auf das dominante Männchen mit seinem massigen Körper und der Mähne, das bestimmte Aspekte des Soziallebens bestimmt. Aggressiv hält es die Gruppe in Schach. Es darf sich an den besten Essensplätzen so lange bedienen, bis es satt ist, während die anderen zusehen müssen. Außerdem beansprucht es die besten Schlafplätze, die meisten Paarungsgelegenheiten und Fellpflegesitzungen.

## Die Mehrheit entscheidet

Doch in den letzten Jahren haben Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler, darunter auch Meg Crofoot, eine Reihe von Forschungsergebnissen veröffentlicht, die dem bisherigen Schwarz-Weiß-Bild Farbe verleihen. Durch die Untersuchung einer Horde Anubispaviane im Mpala-Forschungszentrum haben Crofoot und ihr Team herausgefunden, dass die Macht nicht ausschließlich bei den dominanten Tieren liegt. Denn wenn es um die Frage geht, wohin die Gruppe ziehen soll, können die Tiere demokratisch entscheiden. Damit die Horde zusammenbleiben kann, gehen Paviane Kompromisse bei ihrem bevorzugten Fortbewegungstempo ein. Merkmale der Landschaft und Feinheiten der Gruppe spielen ebenfalls eine Rolle bei der Gestaltung der individuellen Entscheidungen. All dies deutet auf ein weitaus nuancierteres Porträt der Paviengesellschaften hin. „Unter Pavianen herrscht weder völlige Despotie noch Demokratie“, sagt Meg Crofoot. „Entscheidungen werden je nach der Situation unterschiedlich gefällt.“

Bevor es hochauflösende Ortungsgeräte gab, hatten Biologen bei der Untersuchung des Sozialverhaltens von Affen in freier Wildbahn lediglich zwei Möglichkeiten: „Entweder man beobachtete ein Tier über einen bestimmten Zeitraum hinweg, verpasste dann aber, was im Umfeld vor sich ging“, erklärt Crofoot. „Oder man zeichnete alles auf, was sämtliche Gruppenmitglieder zu einem bestimmten Zeitpunkt machten. Dann verpasste man allerdings die Reihenfolge der Ereignisse.“ GPS-Ortungsgeräte haben das mittlerweile geändert. Nun kann ein einzelner Forscher zentimetergenau bestimmen, wo sich jedes Tier der Gruppe gerade befindet und was es tut.

2012 bestückten Crofoot und ihr Team 25 Paviane einer Horde mit GPS-Halsbändern. Sie waren damit die Ersten, die diese Technik bei sozialen Affen einsetzten. Die Halsbänder, die wochenlang einen GPS-Punkt pro Sekunde aufzeichneten, haben eine schwindelerregende Menge an Daten geliefert. Die Messungen haben neue Erkenntnisse über die Abhängigkeiten innerhalb der Paviengesellschaften produziert – wie sich das, was ein Pavian macht, auf das Verhalten eines Artgenossen auswirkt und wie die Wechselwirkungen zwischen den Tieren die Entscheidungen der anderen Gruppenmitglieder beeinflussen.

Erste Ergebnisse zeigten, dass der Rang in einer Gesellschaft kaum eine Rolle spielt: Die Mitglieder der Horde folgen den dominanten Männchen ebenso wenig wie den untergeordneten Artgenossen. Dieser Befund erschütterte die Annahmen darüber, wer wen in dieser stark hierarchischen Gesellschaft beeinflusst. „Warum die dominanten Männchen ihre soziale Macht nicht in Führungsqualitäten umsetzen können oder wollen, das wissen wir nicht. Dieses Rätsel müssen wir noch lösen“, so Crofoot. Aber was geschieht, wenn sich die Horde entscheiden muss, einem von zwei Pavianen zu folgen, die sich in unterschiedliche Richtungen bewegen? Das Team, zu dem auch Iain Couzin, Damien

28

FOTO: ROB NELSON



# „In der Paviangesellschaft herrscht weder völlige Despotie noch Demokratie. Entscheidungen werden je nach der Situation unterschiedlich getroffen.“

MEG CROFOOT



Roland Kays (links) und Meg Crofoot bei der Vorbereitung von GPS-Halsbändern. Mit diesen Ortungsgeräten haben die Forschenden eine Gruppe von 25 Pavianen ausgestattet und die Positionen aller Tiere mehrere Wochen sekundengenau aufgezeichnet.

Damien Farine und Ariana Strandburg-Peshkin vom Konstanzer Max-Planck-Institut gehörten, beobachtete, dass ihre Wahl davon abhängt, in welche Richtungen sich zwei vorausgehende Paviane entfernen – genauer: vom Winkel zwischen beiden Richtungen. Beträgt dieser weniger als 90 Grad, gehen die folgenden Tiere einen Kompromiss ein und wählen den Mittelweg. Ist der Winkel größer als 90 Grad, wählen sie die Richtung, die von mehr Mitgliedern der Gruppe bevorzugt wird. Sie folgen dann also einer „Mehrheitsregel“ und treffen die Entscheidung demokratisch.

Ohne Wissen über die physische und soziale Umgebung war das Bild der Entscheidungsfindung bei Pavianen jedoch unvollständig. Deshalb nahm das Team erneut die Hilfe der Technik in Anspruch: dieses Mal eine Drohne, die während des Fluges Bilder aufnahm. Anhand der Fotos rekonstruierte Strandburg-Peshkin die Landschaft mit einer Genauigkeit von fünf Zentimetern. Durch das Überlagern der Standortdaten der Paviane mit der dreidimensionalen Landschaft konnte das Team analysieren, wie die Hügel, Bäume, Straßen und anderen Merkmale des Lebensraums die Entscheidungen der Tiere beeinflussen. Solche Studien, die die natürliche Umgebung mit den Bewegungen von Gruppen kombinieren, sind erstaunlich selten. „Dabei können wir doch so herausfinden, wie die Tiere Informationen über ihre Gruppe und ihren Lebensraum über verschiedene Entfernungen und Zeiträume hinweg berücksichtigen.“

Das Team entdeckte, dass Straßen der Schlüssel zur Entscheidungsfindung bei Pavianen sind. Und zwar in einem solchen Maße, dass Straßen die „Mehrheitsregel“ außer Kraft setzen. Wenn eine Horde eine Straße entlangzieht und ein Individuum in die umliegende Vegetation abschweifen will, braucht es nicht nur eine Mehrheit, sondern eine Supermehrheit, um die Horde zum Nachgeben zu bewegen. Die Paviane interessieren sich auch dafür, wo andere Gruppenmitglieder gewesen sind, und besuchen bevorzugt solche Orte. „Auf der Straße kommen die Tiere schneller voran. Wenn ein Pavian also seine Gruppenkameraden zu größeren Anstrengungen motivieren will, braucht es dafür mehr Überzeugungskraft“, erklärt Crofoot.

Nachdem sich die Forschenden Hunderte von Stunden an Pavianvideos angesehen hatten – eine gängige Praxis bei der Untersuchung des Verhaltens von Tieren –, bemerkten sie ein auffälliges Muster. „Man konnte erkennen, wie die Horde ständig beschleunigte und verlangsamte und so ihr Tempo anpasste“, erzählt Meg Crofoot. Das brachte das Team dazu, sich zu fragen, wie Gesellschaften – wie jene der Paviane, in denen Tiere unterschiedlichen Alters, unterschiedlicher Größe und unterschiedlicher Fähigkeiten zusammenleben – die Kosten für diesen Zusammenhalt tragen. Um das herauszufinden, zapfte Crofoot einen Datenstrom an, den vor ihr noch niemand genutzt hatte.

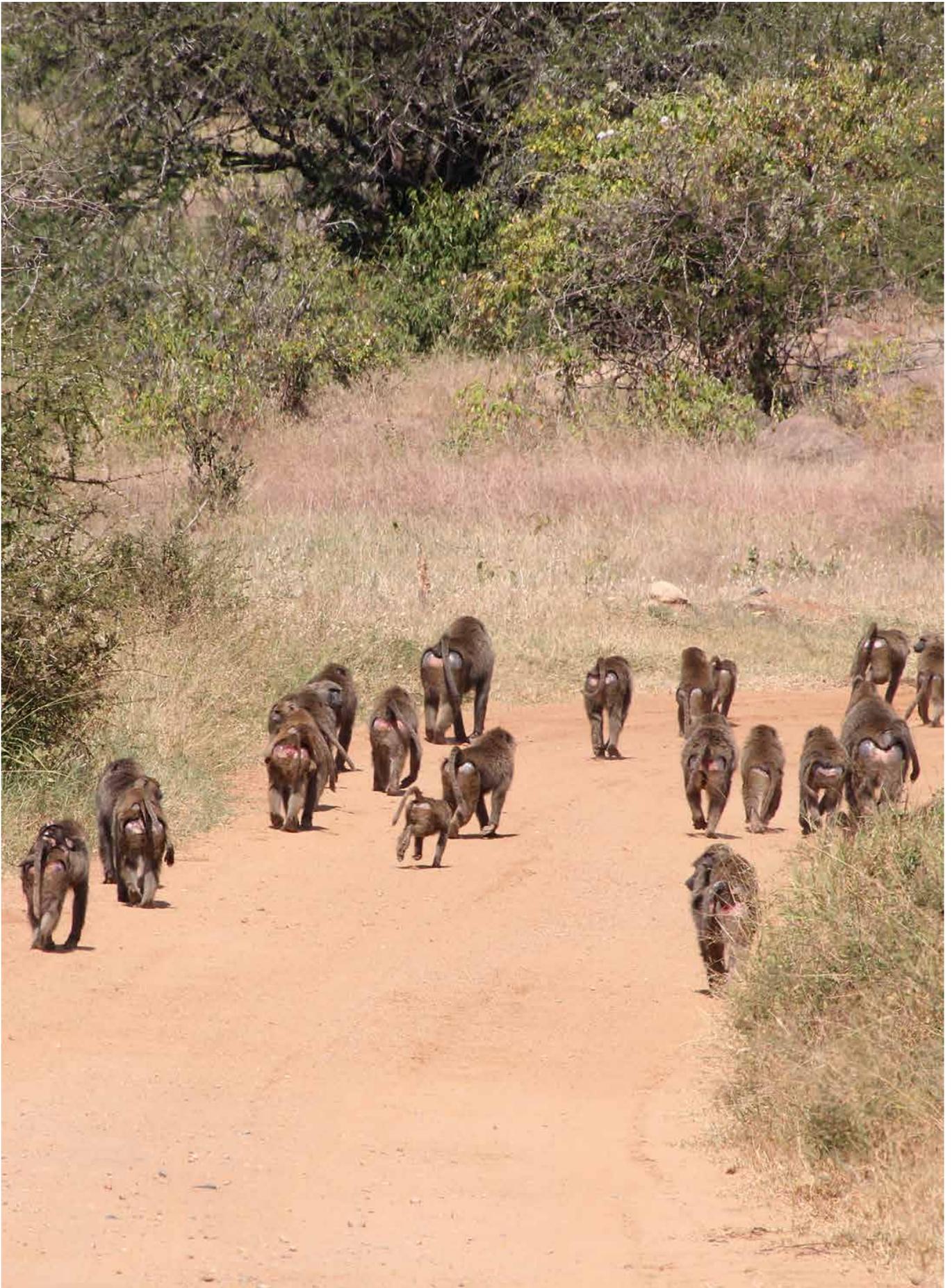


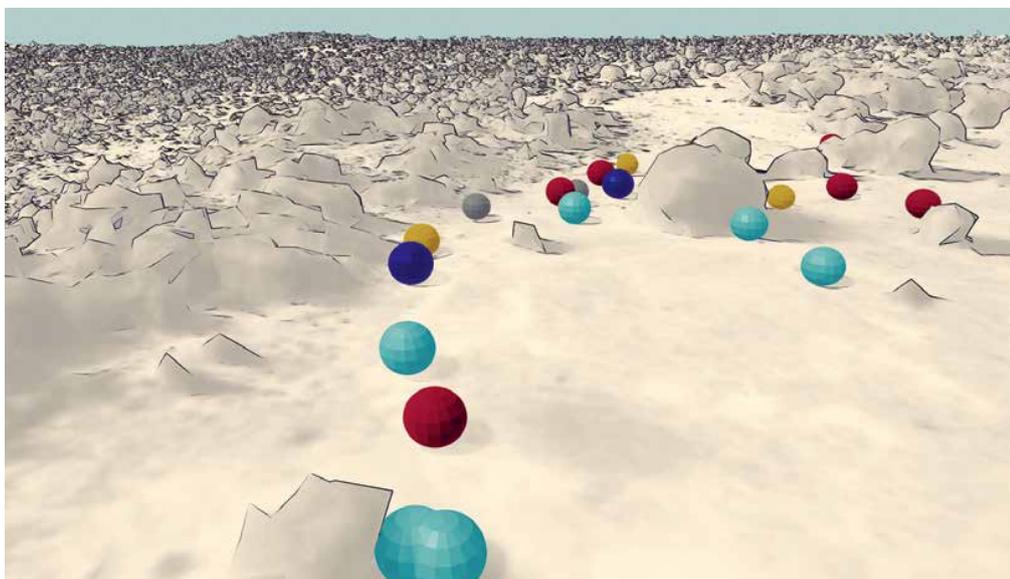
FOTO: MEG GROFOOT

**Diese Seite:**  
Die dichte Mähne ist das typische Merkmal ausgewachsener Männchen. Diese bringen bis zu 40 Kilogramm auf die Waage und besitzen längere Eckzähne als ein Löwe.

**Rechte Seite:**  
Eine Horde Anubispaviane in der Savanne Kenias. Wahrscheinlich folgen die Tiere gerne Straßen, weil sie so schneller vorankommen. Damit die Gruppe zusammenbleibt, müssen die Affen ihre Geschwindigkeit aufeinander abstimmen.

FOTO: CARTER LOFTUS





Verknüpfung von GPS-Ortung und Rekonstruktion der Landschaft: Die Kugeln geben die Positionen der Mitglieder der Pavianhorde zwischen Bäumen und Büschen an:

- Ausgewachsene Weibchen
- Jugendliche Weibchen
- Ausgewachsene Männchen
- Jugendliche Männchen
- Jungtiere

Bereits 2012 hatte sie Beschleunigungssensoren in die GPS-Halsbänder integriert. Die Sensoren sammelten Informationen über die Leistungsfähigkeit, das Verhalten und den Energieaufwand der Tiere. „Plötzlich besaßen wir eine Menge von Daten, an die sich zuvor niemand herangetraut hatte“, erinnert sie sich.

## Jeder muss Kompromisse machen

Dann kam Covid-19. Internationale Reisen wurden verboten, die Feldarbeit kam zum Erliegen. Die Forschenden saßen zu Hause fest und hatten nur ihre Computer als Gesellschaft. Es war der perfekte Zeitpunkt, um die Daten auszuwerten. Roi Harel leitete die Analyse. Er stellte fest, dass die unterschiedlichen Körpergrößen der Gruppenmitglieder ein Problem für die gemeinsame Fortbewegung bedeuten. Der Forscher erkannte, dass jede Größenklasse Kompromisse hinsichtlich ihrer optimalen Geschwindigkeit eingeht, um die Gruppe zusammenzuhalten. Die jüngsten Mitglieder, die wegen ihrer geringeren Größe am meisten von der Sicherheit in einer Horde profitieren, tragen dabei am stärksten zum Kompromiss bei.

War die Analyse der Beschleunigungsdaten schon kompliziert, im Vergleich zum nächsten Projekt der Forschenden war sie jedoch ein Kinderspiel. Zusammen

### AUF DEN PUNKT GEBRACHT

Dank moderner GPS-Ortung können Forschende die Positionen und Bewegungen aller Mitglieder einer Gruppe rund um die Uhr aufzeichnen. Damit und mit weiteren Daten aus der Umwelt wollen sie herausfinden, was das Verhalten der Tiere bestimmt.

Die Mitglieder einer Pavianhorde folgen häufig nicht dem dominanten Männchen, sondern der Mehrheit der Gruppe. Die Wahl der Richtung wird dann gewissermaßen demokratisch getroffen.

Damit die Gruppe zusammenbleibt, müssen die Mitglieder ihre Laufgeschwindigkeit aufeinander abstimmen. Jungtiere müssen sich dabei stärker anpassen als ältere.

mit Informatikerinnen und Informatikern hat das Team den Pavianen Armbänder mit noch mehr Sensoren angelegt – darunter Magnetometer, Gyroskop, Thermometer und Mikrofon. Das Ziel des Experiments ist es, für jedes Tier ein elektronisches Ethogramm zu erstellen – also eine detaillierte digitale Beschreibung seines Verhaltens.

Mit diesem Instrumentarium können die Forschenden nun Fragen angehen, auf die sie früher keine Antwort erwarten konnten, die aber für ein umfassendes Verständnis des Sozialverhaltens unerlässlich sind. Zum Beispiel: Wie schlafen Wildtiere, wenn sie zusammen sind? „Schlaf wird normalerweise in Laboren mit einzelnen Probanden untersucht. Jetzt wollen wir das Schlafverhalten von Paviangruppen in der Natur studieren“, sagt Meg Crofoot.

„Es ist wunderbar, Paviane in freier Wildbahn zu beobachten – wie sie sich streiten, sich versöhnen, sich gegenseitig helfen und sich manchmal auch austricksen.“ Dabei

denkt die Forscherin auch an eine andere, noch außergewöhnlichere Art. „Wir wollen herausfinden, wie wir Menschen im Vergleich zu anderen sozialen Tierarten Interessenkonflikte überwinden können, um gemeinsame Ziele zu erreichen. Dies hilft uns zu verstehen, warum wir eine so außerordentlich erfolgreiche Spezies sind.“

🔊 [www.mpg.de/podcasts/zusammenhalt](http://www.mpg.de/podcasts/zusammenhalt)



# FORSCHUNG LEICHT GEMACHT

Das Magazin der Max-Planck-Gesellschaft als **ePaper**:

[www.mpg.de/mpf-mobil](http://www.mpg.de/mpf-mobil)

[www.mpg.de/mpforschung](http://www.mpg.de/mpforschung)

KOSTENLOS  
DOWNLOADEN!





# SELTEN MUTIG

TEXT: MARTIN TSCHECHNE



ILLUSTRATION: DOROTHEA PLUTA

Zivilcourage ist in einer freiheitlichen Gesellschaft unersetzlich. Doch im Ernstfall wagen es nur wenige, die Opfer von Verbrechen zu schützen oder sich aktiv gegen Hass und Rassismus zu stellen. Am Max-Planck-Institut zur Erforschung von Gemeinschaftsgütern untersucht die Psychologin Anna Baumert Anlässe und Bedingungen für Zivilcourage – eine *work in progress*.

Mal angenommen, ein junger Mensch betritt ein Forschungslabor. Kahle Wände, Deckenlampen, Seminarische. Freundliche Mitarbeiter des Instituts erläutern den Ablauf der Studie, nehmen Daten zur Person auf und teilen Fragebogen aus. Dann erkundigen sie sich, ob der Besucher zum Dank für Zeit und Mühe ein Honorar annehmen möchte oder ob er oder sie zur Gruppe derer gehört, die sich die Teilnahme für ihr Studium anrechnen lassen können. Nein, antwortet der Gefragte, ob Mann oder Frau, keine Versuchspersonenstunden; ich nehme das Honorar.

## Schock, Empörung oder Schweigen

Mal angenommen, der Proband hätte sich also durch einen Stapel von Testfragen gearbeitet, in einer zweiten Sitzung zwei Wochen später das Hemd aus der Hose gezupft und einen Gurt umgelegt, um die Herzfrequenz zu ermitteln. Er oder sie hätte auf Anweisung der Forscher einen Text auswendig gelernt, sich abfragen lassen und bereitwillig Auskunft über die eigenen Gefühle gegeben – nervös, ängstlich, gelangweilt, jeweils einzustufen auf einer Skala von null bis fünf – und würde nun irgendwo auf dem Weg durch die Versuchsanordnung Zeuge eines Gesprächs zwischen zwei Mitarbeitern des Projekts. Geflüstert nur, die Köpfe eng beieinander, ein knapper Vorschlag, aber unüberhörbar: „Einige unserer Probanden lassen sich die Mitarbeit doch für ihr Studium anrechnen; wenn wir auf deren Namen auch eine Honorarquittung ausstellen, dann könnten wir das Geld selbst einstreichen, und niemand merkt etwas...“ – Wie würde so ein Teilnehmer der Studie wohl reagieren? Mit Schock? Empörung? Betretenem Schweigen?

36 Anna Baumert hat ein paar sehr differenzierte, differenzierende Hypothesen entwickelt. Die Reaktion hänge ab von der Persönlichkeit der Versuchsperson, sagt die Psychologin am Bonner Max Planck-Institut zur Erforschung von Gemeinschaftsgütern. Von Gegenwart oder Abwesenheit anderer. Von den Erfahrungen im Umgang mit Autoritäten. Von der Erwartung, mit eigener Initiative auch etwas bewirken zu können oder doch eher den Einflüssen anderer ausgeliefert zu sein. Ein System von Konzepten hat die Wissenschaftlerin im Lauf ihrer Forschungsarbeit mit vielen Kolleginnen und Kollegen entwickelt, einen Leitfaden zur Unterscheidung von Aufmerksamkeitsstypen – ob einer die Welt also eher aus der Perspektive dessen sieht, dem etwas widerfährt, oder dessen, der den Nutzen hat. Ob er oder sie die Situation nur von außen beobachtet und analysiert oder sich selbst eher als Akteur erlebt. Mit Stolz und Genugtuung oder mit Schuldgefühl und Scham. Es geht um Zivilcourage. Um das Eintreten für die Interessen anderer, auch wenn die

eigenen dadurch verletzt werden. Um den Entschluss des Whistleblowers, geheime Daten und Praktiken zum Wohl der Gemeinschaft an die Öffentlichkeit zu bringen, selbst wenn dafür Gefängnis droht. Um den Widerstand gegen Diskriminierung und Vorurteil, vor allem, wenn andere davon betroffen sind – von Rassismus, Sexismus oder Hass. Aufstehen in der U-Bahn, um den Pöbler in die Schranken zu weisen. Einschrei-

**„Menschen,  
die dazu neigen,  
sich Klarheit  
zu verschaffen,  
schreiten  
vermutlich ent-  
schiedener ein.“**

ANNA BAUMERT

ten, wenn einer bedrängt wird. Oder aufmucken, wenn viele das Gemeinschaftsgut Gesundheit verteidigen und wenige trotzdem ihre Party feiern. Anna Baumert hat Menschen befragt, die für ihren Mut mit Verdienstkreuzen ausgezeichnet worden waren. Eine Frau hatte eine Gruppe von Schlägern auseinandergetrieben, die auf einen am Boden Liegenden eintraten. Einer war einem Einbrecher aus dem Nachbarhaus hinterhergerannt, das Handy so lange am Ohr, bis die Polizei zur Stelle war. Sind solche Menschen anders als andere? Ja, sagt die Psychologin. Sie ärgern sich heftiger, vielleicht schneller. Und sie haben möglicherweise eine geringere Toleranz gegenüber ungeklärten Situationen. „Ich habe die Vermutung, dass Menschen, die sensibel beobachten, auch eher dazu neigen, sich Klarheit zu verschaffen. Um dann entschiedener einzugreifen. Dieser Umgang mit Ungewissheit, Mehrdeutigkeit – der interessiert mich total!“

Seit Jahrzehnten gilt der Fall Kitty Genovese als Lehrbuchbeispiel für das Versagen sämtlicher Tugenden in einer Gemeinschaft. Am 13. März 1964 war die junge Frau vor ihrem Haus im New Yorker Stadtteil Queens niedergestochen, vergewaltigt und ermordet worden. 38 Menschen in der unmittelbaren Nachbarschaft, so ermittelte ein Reporter der *New York Times*, waren

Auf der Suche nach  
couragierten  
Persönlichkeiten: Die  
Psychologin Anna  
Baumert leitet die  
Max-Planck-  
Forschungsgruppe  
„Zivilcourage“ am  
Max-Planck-Institut zur  
Erforschung von  
Gemeinschaftsgütern  
und lehrt an der  
Bergischen Universität  
Wuppertal.

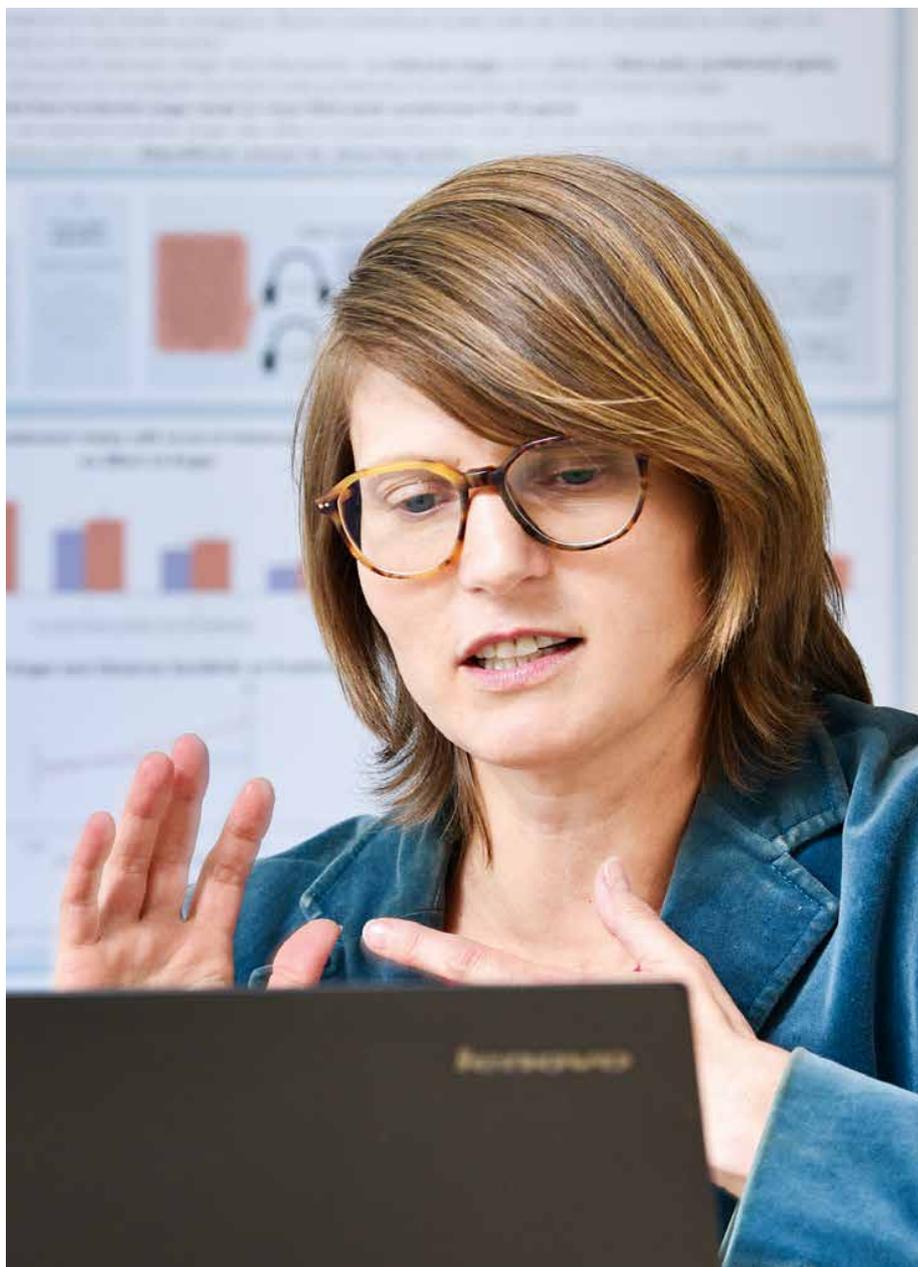


FOTO: FRANK VINKEN FÜR MPG

Zeugen der Tat. Die Schreie der Frau nachts um Viertel nach drei hatten sie geweckt; sie hatten am Fenster gestanden, gezögert und abgewartet. Fast eine Stunde lang. Einer hatte sein Radio lauter gedreht, um den Schrecken zu übertönen. Eine war schließlich doch vor die Tür gerannt, um die Sterbende zu halten. Aber keiner, der ihr wirklich zu Hilfe kam.

Natürlich kennt Baumert die Literatur zu dem Fall; sie gehört zum Standard des Fachs. Die Sozialpsychologen Bibb Latané und John M. Darley etwa hatten wenige Jahre später eine ganze Forschungstradition mit der Frage begründet, wann und warum Menschen tatenlos danebenstehen. „Da gibt es klare Belege“, fasst die Forscherin zusammen, „dass die Anwesenheit von

inaktiven anderen dazu führen kann, dass man selber auch nicht einschreitet.“ Und doch bleibt sie skeptisch. Zu anekdotisch seien die Belege in vielen der Studien, zu spekulativ die häufig eher zufällig gesammelten Erklärungen. „Wir müssen selbst einen Kontext definieren“, begründet Baumert ihren Ansatz. „Denn nur in einer kontrollierten Studie lassen sich relevante Persönlichkeitseigenschaften erfassen und die Probanden parallel zum Geschehen befragen. Es geht um Kausalität.“

Opfer, Beobachter, Täter, Nutznießer: Vier Perspektiven in der alltäglichen Wahrnehmung von Unrecht hat die Psychologin in ihren Studien identifiziert; aus jeder entwickelt sich eine eigene Sensibilität, eine Disposition, den Herausforderungen an die Moral der Ge-



Hilfreicher Zorn: Wer bei Unrecht eingreift, handelt oft aus einem Gefühl der Wut heraus.

ILLUSTRATION: DOROTHEA PLUTA



## AUF DEN PUNKT GEBRACHT

Die Bereitschaft von Menschen zur Zivilcourage lässt sich nur schwer unter kontrollierten Bedingungen messen.

Mithilfe von Persönlichkeitsmerkmalen lassen sich keine klaren Voraussagen treffen.

Wer sich schneller oder heftiger ärgert als andere, handelt eher zivilcouragiert.

meinschaft entgegenzutreten. Sie sind Bedingungen für zivilcouragiertes Handeln – oder für Untätigkeit. Opfersensibilität etwa, erstens, bildet sich heraus, wo einer Ungerechtigkeit am eigenen Leib erlebt. Kann sein, dass sich daraus Wut und Zorn entwickeln. Oder aber Zögerlichkeit, Misstrauen, eine Tendenz zum Rückzug. „Plausibel ist beides“, bestätigt Baumert. „Und beides haben wir in unseren Studien beobachtet.“ In Chile etwa, so hat sie in einem Projekt mit südamerikanischen Wissenschaftlern ermittelt, waren es gerade die Opfer von Ausbeutung und Unterdrückung, die sich in der Protestbewegung durch zornige Entschlossenheit hervortaten.

Und warum sollten es nicht auch, zweitens, unbeteiligte Beobachter sein, die den ungerechten Charakter einer Konstellation besonders scharf erkennen? Drittens Akteure, die gerade aus der Innensicht ihres Verhaltens eine besondere Empathie entwickeln? Oder viertens Privilegierte, Nutznießer ohne eigenes Zutun, die sich ihrer Privilegien bewusst werden und sie infrage stellen? „Doch, das gibt es“, sagt Baumert und lacht. „Denken Sie nur an den alten weißen Mann, der fordert:

Wir müssen etwas für die Frauenrechte tun! Vielleicht sollte es ein paar mehr davon geben.“

Was die Forscherin sammelt und in empirischen Studien seziert, sind Kontexte und Narrative, die das Erleben beeinflussen und eine Interpretation stimulieren. Sie hat Studierende befragt und sich gewundert, dass deren Gespür für Ungerechtigkeit nach ihrem Eintritt ins Studium eher abzunehmen scheint. Bis ihr klar wurde, dass sich das Leben der jungen Leute ja gerade in dieser Hinsicht tatsächlich geändert hatte: Die neue Situation war weniger geregelt, freier und lockerer, zumindest im Vergleich zu Elternhaus und Schule, bot also ganz einfach weniger Anlass, im engeren Umfeld so etwas wie Ungerechtigkeit zu erleben. Baumert erkannte, dass eine Analyse der komplexen Bedingungen ebenso komplexe Strategien erfordert.

Ihre Studie arrangierte die Wissenschaftlerin also wie ein geheimes Komplott: mit einer umfangreichen Batterie von psychologischen Tests, die sie detailliert auswertete, und mit der Aufgabe, einen Text zu lernen, wobei das Resultat für ihr Thema ohne Belang war. Ein Ele-

ment der Tarnung. Mit der Aufzeichnung physiologischer Werte, deren Ausschlagen die Schockwirkung ihrer Inszenierung bestätigen könnte. Und mit Mitarbeitern, die darauf zu achten hatten, dass die echten Probanden auch wirklich mitbekamen, was sie einander scheinbar heimlich zuflüsterten. Das ganze Experiment war angelegt, die Teilnehmer zu täuschen. Zur Beruhigung: Hinterher wurde alles aufgeklärt.

Die feinkörnigen Resultate der Tiefbohrung blieben aus. „Es ist so“, fasst Baumert zusammen, „dass von unseren vier Persönlichkeitsmerkmalen eigentlich kein einziges wirklich gut und erwartungsgemäß vorhersagt, wer eingreift und wer nicht.“ Entmutigen lässt sie sich trotzdem nicht. Eine wirklich funktionale Analyse moralgeleiteten Handelns braucht vielleicht noch engeren Bezug zum Alltag. Einen noch konsequenter nachgezeichneten Pfad zwischen dem Erkennen einer Konstellation und dem Entschluss, dagegen aufzustehen. Vielleicht noch breitere Kooperation. „Was ich sehr interessant fände, wäre eine Zusammenarbeit mit Entwicklungspsychologen“, gesteht die Persönlichkeitsforscherin. „Hat sich leider noch nicht ergeben.“

## Jeder Vierte erhob Einspruch

Immerhin: Der Faktor Ärger hat sich bestätigt. Wer sich ärgert, der macht auch den Mund auf. Die Emotion werde ausgelöst, so führt die Psychologin aus, wenn Ziele frustriert oder Werte verletzt werden. Die Signale für die Beobachter waren ja deutlich genug. Und immerhin ein Viertel der Probanden empfand solchen Ärger und erhob Einspruch gegen den vermeintlichen Betrugsversuch, die meisten spontan, gleich bei den Mitarbeitern, die ihnen die böse Absicht vorgespielt hatten. „Das ist das, was man in solchen Studien findet“, sagt Baumert. „25 Prozent sagen was, die anderen sagen nichts.“ Wo waren sie, als Kitty Genovese ermordet wurde? Wo sind sie, wenn Vandalismus wütet, Fremde oder Frauen bedroht, Kinder misshandelt und vernachlässigt werden, wenn Landräte ihre Familien an der Warteschlange vorbei zum Impfen schleusen oder Querdenker anderen die Schutzmaske vom Gesicht reißen? Wer Zeitung liest, der kann es beurteilen: Im wirklichen Leben wären 25 Prozent eine bemerkenswert gute Quote.

Doch da sieht die Forscherin ihren Möglichkeiten Grenzen gesetzt. Der Aufwand sei unumgänglich, sagt sie. Das Labor, die Inszenierung – „anders lassen sich psychologische Unterschiede und Dispositionen nicht erfassen“. Ganz zu schweigen von Blutdruck oder Atemfrequenz. Aber wie realistisch darf der Schock sein, den die Wissenschaft ihren Probanden zumutet? Wo liegen die ethischen Grenzen zwischen Neugier und Verantwortung? Die Forschung steckt in einem Dilemma. Anna Baumert hat es ausgemessen: Einer

Gruppe von Teilnehmern ihrer Studie führte sie den Betrugsversuch nur als Videoaufzeichnung vor, einer anderen beschrieb sie die Situation in einem schriftlichen Text. Und siehe da: Alle zeigten sich empört. Die Sensiblen, die Zornigen, die Engagierten, die Ängstlichen, die Indifferenten – alle stimmten ein in den Chor: Ja, dagegen würden wir einschreiten! Und zwar sofort und sehr entschieden! Gratismut, stellt Baumert klar. „Man kann hypothetische Fragen nicht zur Prognose von Verhalten verwenden. Was sie verraten, ist, wie einer sich selbst sieht. Wie einer sein möchte.“

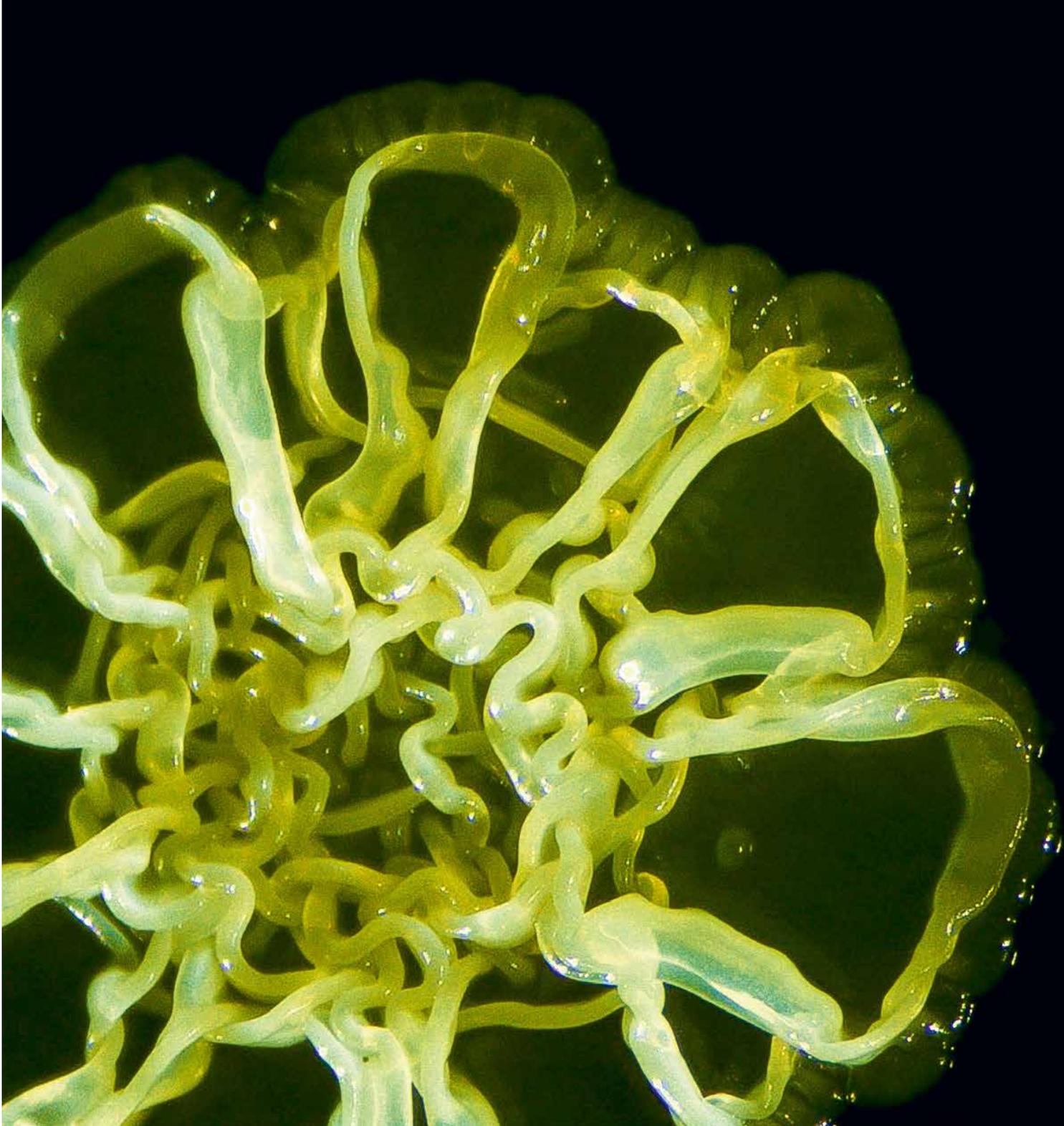
## Ein Mythos veränderte die Realität

Der Fall Kitty Genovese verdient noch einen Nachtrag. Am 27. März 1964, zwei Wochen nach der Tat, brachte die *New York Times* einen Artikel, der die Umstände erst zum gesellschaftlichen Phänomen erhob. „38 sahen einen Mord, und keiner rief die Polizei“, lautete die Schlagzeile. Die öffentliche Empörung war also beabsichtigt – ihre Nachhaltigkeit konnte niemand ahnen. Die Wissenschaft nahm das Thema auf, Psychologen und Soziologen, bald auch Städteplaner, Architekten, Politikberater. Der Mord, so ihr Befund, bestätigte die Entfremdung, die Anonymität des Lebens im Moloch einer Großstadt, die Überforderung durch Enge, Lärm und soziale Spannungen, in manchen Studien gar die Grenzen der Wahrnehmung: daneben stehen und nichts sehen.

Erst 2015 deckte der Regisseur James Solomon in seiner Dokumentation *The Witness* auf, wie der nächtliche Mord von Anfang an zu einem Mythos stilisiert worden war, zum Narrativ einer kalten und herzlosen Stadt, einer kalten und herzlosen Gesellschaft. Ein journalistisches Desaster: Der Reporter von damals hatte gestanden, dass es doch nicht ganz so viele Zeugen gewesen seien, vielleicht zwölf, vielleicht auch nur zwei, und kein einziger konnte den ganzen Tathergang verfolgen. Ein Jahr später distanzierte sich auch die *New York Times* von dem Artikel. Die Fragen aber, die der Fall aufgeworfen hat, sind real. Ebenso sind es die Forschungsprojekte, die das Phänomen aufgegriffen und untersucht haben. Anna Baumert erkundet weiterhin die Bedingungen von produktivem Ärger und moralischer Aufmerksamkeit. Zugleich arbeitet sie mit Informatikern an der Frage, wie der Hetze im Internet ihre verheerende Wirkung genommen werden könnte. Mit couragierter Gegenrede? Mit Zensur? Der Fall Kitty Genovese hat eine Wirklichkeit abgebildet, sicherlich verzerrt, aber er hat auch eine Wirklichkeit geschaffen. Vier Jahre nach dem Mord wurde in den USA die Telefonnummer 911 landesweit als Notruf geschaltet.

 [www.mpg.de/podcasts/zusammenhalt](http://www.mpg.de/podcasts/zusammenhalt)





# DIE GEBURT DES KOLLEKTIVS

TEXT: MAGDALENA NAUERTH

FOTO: MICHAEL SCHWARZ/MPPI FÜR EVOLUTIONS BIOLOGIE

Kolonie von *Pseudomonas*-Bakterien auf der Oberfläche eines festen Nährmediums. Das faltige Aussehen ist eine Folge von Mutationen, die eine Überproduktion eines Cellulosepolymers zur Folge haben. In flüssigem Nährmedium bilden die Bakterien eine dichte Matte.

Wer betrügt, fliegt raus. Im Fall der Bakterien von Paul Rainey ist das Schummeln dagegen sogar erwünscht. In seinem Labor am Max-Planck-Institut für Evolutionsbiologie in Plön untersucht der Forscher, wie aus Einzelzellen ein vielzelliger Organismus wird. Seine Erkenntnis: Zu viel Zusammenhalt kann für die Gemeinschaft auch kontraproduktiv sein.

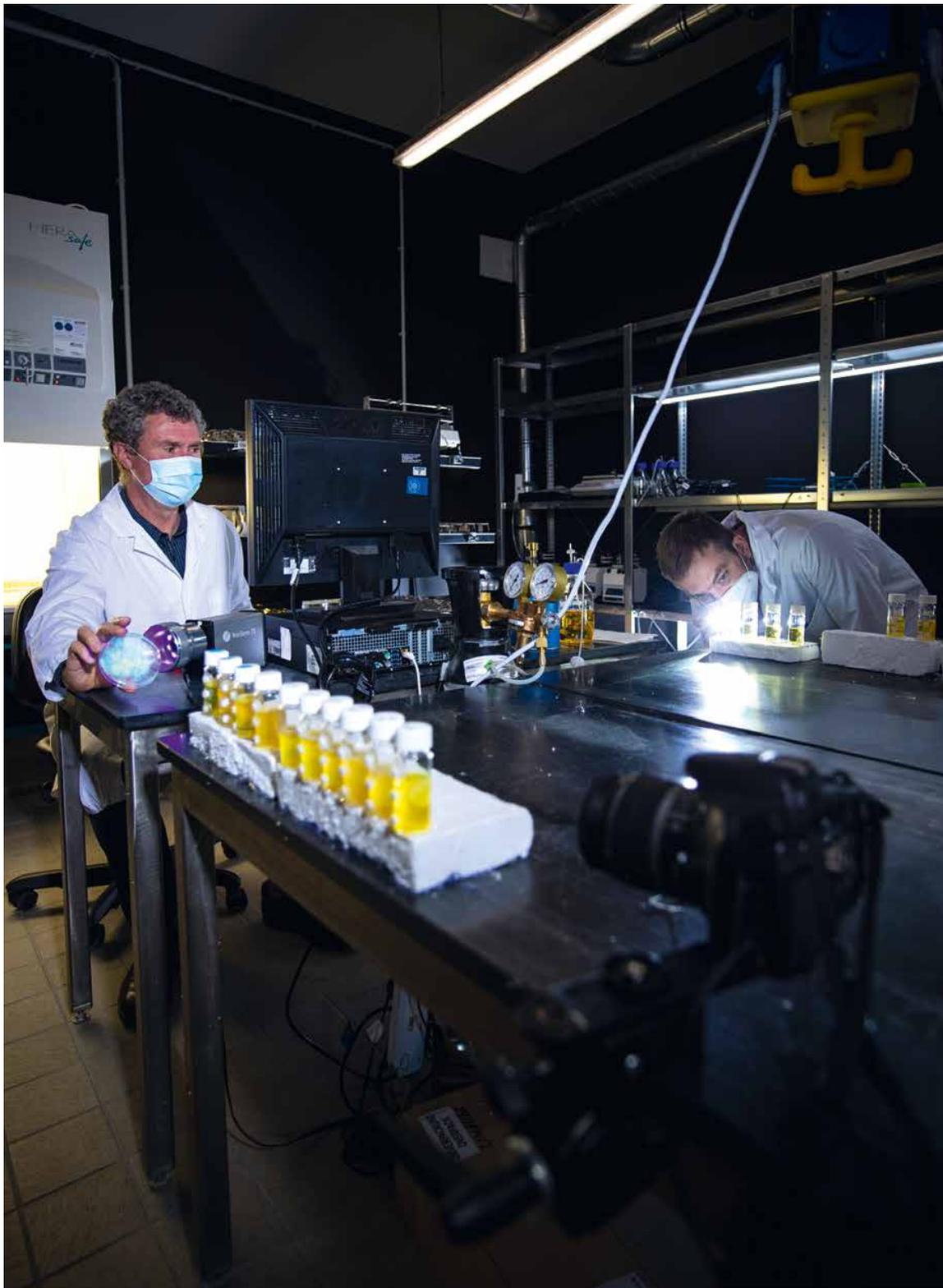


FOTO: TOM PINGEL FÜR MPG

Paul Rainey (links) und Loukas Theodosiou im Labor. Rainey hält eine Petrischale mit einem fluoreszierenden Pigment, das *Pseudomonas fluorescens* seinen Namen gibt. In den Reagenzgläsern schwimmen die Mikroben in verschiedenen Stadien ihres Lebenszyklus.

Als das Leben entstand, gab es noch nicht viel Zusammenhalt. Die ersten Zellen waren „Einzelkämpfer“, die sich an die rauen Lebensbedingungen auf der Erde vor 3,8 Milliarden Jahren anpassen mussten. Aber nur 300 Millionen Jahre später haben sich die ersten Bakterien zusammengetan. In Westaustralien zeugen Formationen aus geschichtetem Kalkstein von diesen frühen Zellverbänden – die sogenannten Stromatolithen. Die ersten Zellen mit einem Zellkern erschienen vor 2,7 Milliarden Jahren und mehrzelliges eukaryotisches Leben vor 1,7 Milliarden Jahren. Paul Rainey und sein Team am Max-Planck-Institut für Evolutionsbiologie wollen verstehen, wie Einzelzellen den Übergang zu Vielzellern geschafft haben könnten.

Paul Rainey hat Biologie studiert. Nach dem Studium hatte der Neuseeländer von seinem Fach jedoch erst einmal genug und tourte mit seinem Saxofon als Jazzmusiker mehrere Jahre durch die Welt. Nach seiner Rückkehr nach Neuseeland arbeitete er zunächst für ein Molkereiunternehmen als Verkaufsleiter – doch dann besann er sich auf seine alte Leidenschaft, die Biologie, und schrieb sich wieder an der Universität ein. Für sein Masterprojekt sollte er Pilze untersuchen.

Schon damals wurde er auf ein Bakterium namens *Pseudomonas tolaasii* aufmerksam, das Pilze befällt. Es bewegt sich mithilfe seiner fadenförmigen Geißeln vorwärts. Rainey bemerkte, dass sich *Pseudomonas* an wechselnde Bedingungen in seinen Kulturgefäßen anpassen konnte. Manche dieser Zellen verloren die Fähigkeit, ein Gift zu produzieren, das bei Pilzen Gewebeschäden auslöst. Dieses Bakterium hat Rainey seitdem nicht mehr losgelassen. Neben seinen eigentlichen Forschungsprojekten hatte er immer auch Experimente mit *Pseudomonas* am Laufen. Diese enorme wissenschaftliche Neugier, gepaart mit Beharrlichkeit, sollte sich letztlich auszahlen, sie brachte dem Forscher

**„Wir haben zum ersten Mal beobachtet, wie kooperatives Verhalten entstanden ist.“**

PAUL RAINEY

aber auch manchmal gehörigen Ärger ein. Als Rainey nach seiner Doktorarbeit für ein weiteres Forschungsprojekt zu Pilzen nach Großbritannien wechselte, beobachtete er, dass die Bakterien auf seinen Agarplatten neben den typischen halbkugeligen, glatten Kolonien auch andere Formen hervorbrachten. Die Oberfläche des zweiten Kolonietyps war von tief eingeschnittenen Furchen übersät. Rainey nannte sie deshalb „schrumpelige Streuer“ (*wrinkly spreaders*). Auf der Oberfläche von flüssigen, ungeschüttelten Nährmedien bildeten die Zellen eine dichte Matte. Der dritte Kolonietyp bekam wegen seines Aussehens den Namen „flaumige Streuer“ (*fuzzy spreaders*). Auch diese Zellen bildeten in flüssigem Medium aufgrund elektrostatischer Anziehung Matten – in diesem Fall allerdings nur kurzlebige.

## Sauerstoffmangel schafft Vielfalt

Paul Rainey's Tests ergaben, dass die Kolonien nicht nur verschieden aussahen, sondern auch aus Zellen mit unterschiedlichen Eigenschaften bestanden. War das schon Evolution? „Zu diesem Zeitpunkt verstand ich die Bedeutung dessen, was ich da vor mir sah, noch nicht“, erzählt Rainey. Im weiteren Verlauf seiner Forschung zeigte sich, dass die Varianten immer nur dann auftraten, wenn die Kulturgefäße, in denen die Bakterien gezüchtet wurden, ruhig standen und nicht geschüttelt wurden. Durch das Schütteln sollte die Versorgung der Mikroben mit Sauerstoff in der Nährlösung sichergestellt werden. In ungeschüttelten Gefäßen war das lebenswichtige Gas dagegen schnell aufgebraucht. In dieser Lage kamen die schrumpeligen und flaumigen Streuer ins Spiel: Dank der Fähigkeit von Zellen unterschiedlicher Kolonietypen zum Zusammenhalt konnten diese Matten bilden und den hohen Sauerstoffgehalt an der Oberfläche nutzen. Immer wieder kam Rainey mit seinem Experiment zum gleichen Ergebnis: Nach ein paar Tagen entstand eine Mischung aus glatten, schrumpeligen und flaumigen Zellen. Sie erschienen sogar stets in der gleichen Reihenfolge: zuerst die glatten, dann die schrumpeligen und zuletzt die flaumigen. „Das war der Durchbruch: *Pseudomonas* hatte sich also an Sauerstoffmangel angepasst“, sagt Paul Rainey rückblickend.

So aufregend diese Ergebnisse auch waren, bei seinem damaligen Arbeitgeber kamen sie nicht so gut an, denn eigentlich sollte Rainey in eine andere Richtung forschen. Und so wurde ihm untersagt, die Experimente fortzuführen. Rainey machte trotzdem weiter – wenn auch auf eine diskretere Art und Weise. Zur Erforschung von Evolution sind die *Pseudomonas*-Bakterien

ein ideales Modell. Anders als in freier Natur können die Forschenden im Labor die Lebensbedingungen ihrer Testobjekte genau kontrollieren. Und noch einen weiteren Vorteil hat die Arbeit mit Bakterien: Da die Evolution meist sehr langsam arbeitet, lässt sich bei den meisten Populationen nur über viele Jahre hinweg beobachten, welche Änderungen im Erbgut das Überleben beeinflussen. Anders bei *Pseudomonas*: Zwischen zwei Generationen liegt weniger als eine Stunde, evolutionäre Anpassungen lassen sich da wie im Zeitraffer studieren. „Wir konnten Evolution also im Reagenzglas untersuchen.“ Seine Experimente haben Rainey zu einem der Mitbegründer einer neuen Teildisziplin der Evolutionsbiologie gemacht: der experimentellen Evolution. Inzwischen erforschen Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler rund um die Welt mit Experimenten, wie sich Organismen an Veränderungen der Lebensbedingungen anpassen. In den künstlichen Laborumgebungen, in denen die Forschenden jeden Parameter unter Kontrolle haben, geht das besonders gut. Und so ist Darwins ursprüngliche Theorie der Evolution durch natürliche Auslese heute vielfach wissenschaftlich belegt.

## Kleber hält Zellen zusammen

Aber wie wurden nun die einzelligeren Bakterien zu Teamplayern? Zunächst mussten sie überhaupt einmal zusammenbleiben können. Genetische Analysen, die Rainey und sein Team vornahm, ergaben, dass die Matten bildenden Zellen dank Mutation ein celluloseartiges Polymer produzieren. „Dieses Molekül wirkt wie ein Kleber, mithilfe dessen sich die Bakterien an die Gefäßwand und aneinander heften können“, erklärt Rainey. So können sie an der Oberfläche einer Flüssigkeit eine Matte bilden und dort den höheren Sauerstoffgehalt nutzen. Für die Gemeinschaft ist dies eindeutig ein großer Vorteil. Aber für die einzelnen Zellen? Sie müssen ja die Energie für das Kleberpolymer aufbringen. *Pseudomonas* erfüllte damit die klassische Definition von Kooperation: ein Verhalten, mit dem ein Individuum etwas zum Nutzen anderer beisteuert und von dem es auch selbst profitiert. „Wir haben damit zum ersten Mal beobachtet, wie kooperatives Verhalten von Grund auf neu entstanden ist“, erzählt Rainey.

Zusammenarbeit ist in vielen Sozialverbänden im Tierreich zu finden. Bei den Bienen zum Beispiel kümmern sich Arbeiterinnen um die Aufzucht ihrer Schwestern, ohne sich selbst fortzupflanzen. Da sie sich aber genetisch sehr ähnlich sind, tragen sie so trotzdem zur Weitergabe ihrer Gene bei. Das Bienenvolk kann dadurch neue Bienen hervorbringen. Damit sich das Verhalten aber durchsetzen kann, müssen sich

auch die Völker selbst vermehren. Sie tun das, indem eine junge Königin im Frühling mit einem Teil des Volkes den alten Stock verlässt und ein neues Bienenvolk gründet. Und die Bakterienmatten – können sie Baby-Matten produzieren? „Auf den ersten Blick schienen sie sich nicht fortzupflanzen“, erzählt Rainey. Ohne Fortpflanzung ist jedoch keine Selektion möglich, denn die Selektion setzt nicht an den Matten an. Mit anderen Worten: Während Matten bildende Zellen sich vermehren, sind die Matten selbst evolutionäre Sackgassen.

Paul Rainey und sein Team gaben aber nicht auf und beobachteten ihr evolutionäres Testsystem weiter. Mit der Zeit entstanden in den Matten weitere Typen mutierter Zellen, die den Klebstoff nicht mehr produzierten und sich frei bewegen konnten. Sie profitierten also vom Zusammenhalt des Verbandes und einer Versorgung mit Sauerstoff, ohne selbst etwas dazu beizutragen. „Sie betrügen ihre Kollegen in gewisser Weise. Da sie sich die Produktion des Klebers sparen, können sie sich schneller vermehren. Gleichzeitig schwächen sie den Zusammenhalt der Matte und führen mit der Zeit deren Auflösung herbei“, so der Wissenschaftler.

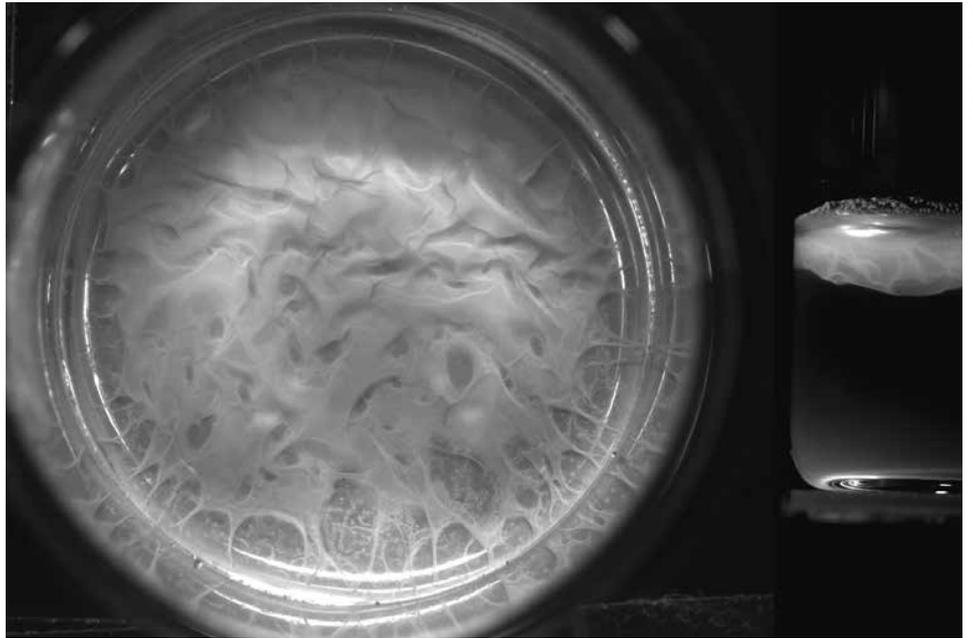
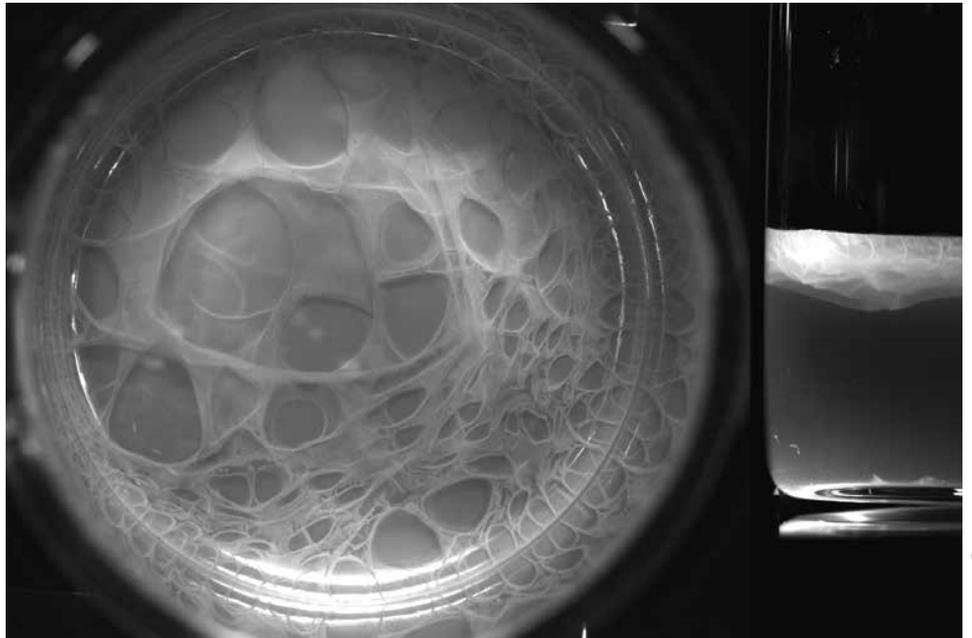
Die vorherrschende Meinung unter Forschenden lautet, dass solche Trittbrettfahrer ein Problem darstellen, das gelöst oder minimiert werden muss, weil Individuen sonst nicht dauerhaft zusammenarbeiten. Paul Rainey und seine Kolleginnen und Kollegen stellten jedoch fest, dass die Betrüger eine ganz wichtige evolutionäre Funktion besitzen können: Unter bestimmten Bedingungen können sie dem Zellkollektiv bei der Vermehrung helfen. „In gewisser Weise nehmen die Betrüger die Rolle von Fortpflanzungszellen ein, mit denen sich vielzellige Organismen vermehren. Die kooperierenden Zellen der Matte wären dann die Körperzellen. Mit dieser Unterscheidung von im Verband bleibenden und sich verbreitenden Zellen besitzen die Bakterienmatten schon ein Merkmal eines mehrzelligen Organismus“, erklärt Rainey.

Anders als in den Reagenzgläsern der Forschenden können sich die Bakterienmatten in der Natur ausbreiten – zum Beispiel in einem Weiher. Wenn an die Schilfrohre angeheftete Matten absterben und zu Boden sinken, können die beweglichen Verbreitungszellen anderer Matten die wieder frei gewordene Nische besiedeln. Nun konkurrieren nicht mehr einzelne Zellen um Platz und Ressourcen, sondern die Matten. Diese werden nun Gegenstand der Selektion. Der am besten angepasste Verband verdrängt unterlegene Konkurrenten. „Dies bedeutet, dass die Selektion nicht mehr nur auf der Ebene einzelner Zellen ansetzt, sondern auf der der Matten“, sagt Rainey. „Eine solche gruppenbasierte Selektion unterstützt die Entstehung kom-



Entwicklung von  
Matten der *Wrinkly  
spreader*-Bakterien an  
der Oberfläche eines  
flüssigen Kulturmediums  
nach 12 (Bild oben)  
und 24 (unten) Stunden.

Dank der verstärkten  
Produktion eines  
Cellulosepolymers haften  
die Zellen aneinander  
und am Rand des Kultur-  
gefäßes. Dadurch bleiben  
sie an der Grenzfläche  
von Luft und Flüssigkeit,  
wo sie mit reichlich  
Sauerstoff versorgt  
werden. (Rechts in den  
Fotos jeweils die  
Seitenansicht.)



FOTOS: MICHAEL SCHWARZ/AIPI FÜR EVOLUTIONSBIOLOGIE

**„Für die Evolution von  
Kollektiven sind bestimmte  
ökologische Bedingungen  
erforderlich.“**

PAUL RAINEY

plexer Organismen.“ Die Ergebnisse brachten den Wissenschaftler auf die Spur eines neuen Konzepts. Dieses berücksichtigt die zentrale Rolle der Ökologie bei großen evolutionären Übergängen wie beim Übergang von Materie zu den ersten selbstreplizierenden Molekülen, von Genen zu Chromosomen oder von Zellen zu mehrzelligen Organismen.

## Meilensteine der Evolution

Evolutionäre Übergänge beginnen mit einfachen Einheiten, die sich zusammenschließen. Sie sind abgeschlossen, wenn das daraus hervorgehende Kollektiv an der Evolution durch natürliche Selektion teilnehmen kann. Dazu müssen die Gemeinschaften drei Eigenschaften besitzen: Sie müssen individuell verschieden sein und variieren, sie müssen sich fortpflanzen, und sie müssen ihre Eigenschaften an Nachkommen weitergeben. Den frühen Formen von Kollektiven fehlten diese Fähigkeiten jedoch. Folglich konnten sie nicht auf Basis natürlicher Selektion entstanden sein. Wie lässt sich dann aber der Ursprung dieser grundlegenden darwinistischen Eigenschaften von Variation, Replikation und Vererbung erklären?

Zusammen mit seinen Kollegen Andrew Black und Pierrick Bourrat hat Rainey ein Modell entwickelt, das die experimentellen Ergebnisse seines Teams vereinfacht und verallgemeinert. Es zeigt, wie ökologische Bedingungen dazu führen können, dass Kollektive die darwinistischen Eigenschaften Variation, Replikation und Vererbung ausbilden. Auf die Bakterienmatten im Teich bezogen, bedeutet das: Die räumlich voneinander getrennt wachsenden Schilfstängel, an denen sich die Matten ansiedeln, ermöglichen Variationen zwischen den Matten. Wenn Matten absterben, können die wieder verfügbaren Schilfrohre von Ausbreitungszellen besiedelt werden. Verbreitung und Bildung einer neuen Matte sind vergleichbar mit der Fortpflanzung der Matten. Und wenn das neue Kollektiv aus einer einzigen Zelle einer Vorgängermatte gebildet wird, dann erbt die neu gebildete Gemeinschaft die Eigenschaften dieser Matte. „Die Matten selbst würden gar nicht als evolutionäre Einheiten an der natür-

lichen Selektion teilnehmen“, erklärt Paul Rainey. „Aber die ökologischen Bedingungen bewirken, dass sich ein darwinistischer Prozess auf der Ebene der Matten entfaltet.“ Allerdings müssen diese von außen auferlegten Eigenschaften dann zu inhärenten Merkmalen der neuen Lebensform werden. Anhand von Experimenten und Computermodellen haben die Wissenschaftler aufgezeigt, dass dies möglich ist. So haben Paul Rainey und sein Team am Max-Planck-Institut beobachtet, dass die Bakterienzellen einen einfachen genetischen Schalter entwickeln, welcher den Übergang zwischen Matten- und Vermehrungszellen ermöglicht. Die Bakterien sind also nicht mehr auf zufällige Mutationen angewiesen, sondern besitzen getrennte Lebenszyklen für Wachstum und Vermehrung. In der Natur können die Matten schließlich die Fähigkeit erlangen, auf der Wasseroberfläche zu schwimmen. Dies macht sie unabhängiger von ansonsten einschränkenden Umweltbedingungen. Damit ähnelt die Bakterienmatte vielzelligen Lebensformen, die ihre Fortpflanzungszellen ins Wasser abgeben.

### AUF DEN PUNKT GEBRACHT

Durch ihre kurze Generationszeit können sich Bakterien schnell an neue Lebensbedingungen anpassen. Deshalb lässt sich Evolution an Bakterienkulturen im Labor wie im Zeitraffer beobachten.

Wenn der Sauerstoff in Nährlösungen knapp wird, produzieren einzelne Bakterienzellen ein klebriges Polymermolekül, mit dem sie schwimmende Zellmatten bilden können. Auf diese Weise können sie den höheren Sauerstoffgehalt an der Oberfläche nutzen.

Manche Zellen sparen sich die Kosten des Gemeinschaftslebens. Sie schaden zwar kurzfristig dem Bestand der Matten, können aber für die Vermehrung der Verbände genutzt werden. Nehmen die Trittbrettfahrer jedoch überhand, löst sich die Bakteriengemeinschaft auf.

Einfache ökologische Faktoren wie die ungleiche Verteilung von Ressourcen und die Fähigkeit zur Verbreitung ermöglichen die Evolution von Kollektiven.

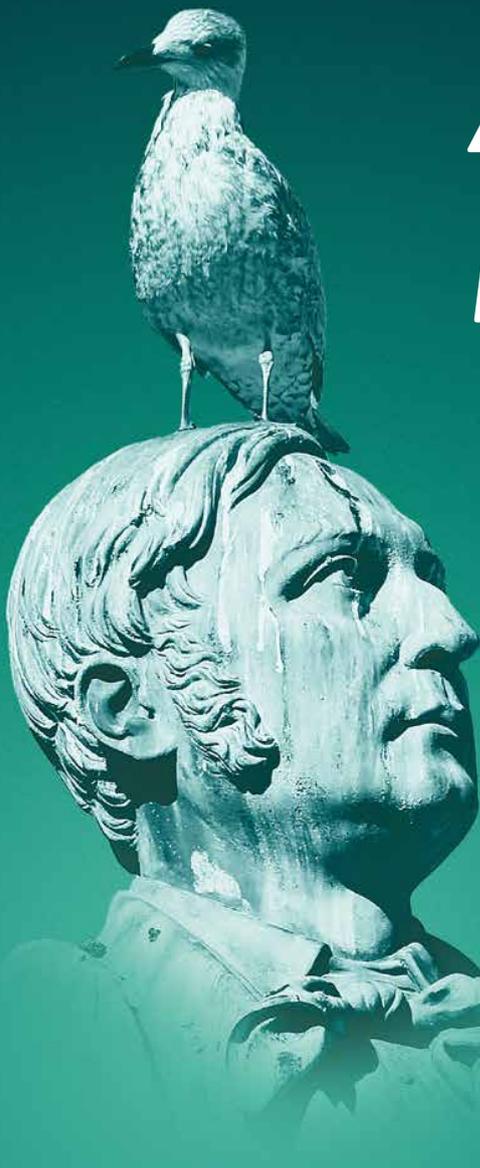
Mit dem Konzept einer Kontinuität zwischen Organismus und Umwelt haben die Forschenden dazu beigetragen, die Aufmerksamkeit auf die Bedeutung der Ökologie und von Umgebungen zu lenken, in denen darwinistische Eigenschaften auf neu entstandene Kollektive übertragen werden können. Dies wiederum öffnet die Tür zu neuen Experimenten, mit denen Forschende möglicherweise die großen evolutionären Übergänge erklären können, einschließlich des größten von allen: der Entstehung des Lebens selbst.

Ob die ersten Zellen tatsächlich genauso wie in Paul Raineys Experimenten zusammengefunden haben, ist unklar. An zu viele Veränderungen hat sich das Leben seitdem anpassen müssen. Hinzu kommt, dass es viele verschiedene Wege zur Vielzelligkeit gegeben hat – je nachdem, in welcher Umwelt sich ein Organismus entwickelt hat. Im Laufe der Evolution ist Vielzelligkeit folglich mehrfach unabhängig voneinander entstanden. „Es ist aber durchaus plausibel, dass einer der vielen Wege dem in unseren Experimenten ähnelt“, stellt Paul Rainey fest.

[www.mpg.de/podcasts/zusammenhalt](http://www.mpg.de/podcasts/zusammenhalt)



# ACH, MENSCH



WARUM SCHEITERN EHEN?  
WIE BEEINFLUSST DIE  
UMWELT UNSER GEHIRN?  
WIE TREFFEN WIR BESSERE  
ENTSCHEIDUNGEN?  
WIE FUNKTIONIERT  
MULTIKULTI? WARUM SPRECHEN WIR,  
WIE WIR SPRECHEN?  
WAS BEDEUTET  
WOHNUNGSLOSIGKEIT?  
WARUM IST ABNEHMEN  
SO SCHWER?

Geistes- und  
Sozialwissen-  
schaftler:innen  
im Gespräch

Die neue Podcastserie von detektor.fm  
und der Max-Planck-Gesellschaft

Jetzt auf allen Plattformen!



# AUF DEM SPRUNG ZUR GRÜNEN CHEMIE

Es dauerte etwas, bis Majd Al-Naji unter vielen Talenten seine heutige Leidenschaft entdeckte: die Chemie. Er sucht am Max-Planck-Institut für Kolloid- und Grenzflächenforschung in Potsdam nach Katalysatoren, die aus Pflanzenabfällen oder Plastikmüll Treibstoffe und andere chemische Produkte erzeugen – und blickt bereits auf einen außergewöhnlichen Lebensweg zurück.

TEXT: KLAUS JACOB

Majd Al-Naji spricht mehrere Sprachen, interessiert sich für Kunst und Kultur, hat selbst Theater gespielt und war professioneller Springreiter. Nach der Schule hätte er sich für alle möglichen Fächer begeistern können – nur nicht für Chemie. Doch heute ist er genau das: ein Chemiker, der am Potsdamer Max-Planck-Institut für Kolloid- und Grenzflächenforschung seit 2018 ein Team leitet und Katalysatoren für eine nachhaltige Chemie entwickelt. Der Weg dorthin war nicht gerade vorgezeichnet, nicht nur, was die Wahl seines Fachs, sondern auch, was seine Biografie angeht. Denn bei seiner Geburt hatte er nicht eben die besten Zukunftsaussichten. Aber er ließ sich nicht beirren, und geholfen hat ihm dabei Optimismus – von dem sein häufiges Lachen ein Zeichen ist. Er ist überzeugt: „Man braucht Glück im Leben, und ich hatte viel Glück.“ Al-Naji war im Grunde staatenlos. Man könnte ihn Syrer nennen, weil seine Eltern lange in Syrien lebten, oder Araber, weil er

in Saudi-Arabien geboren wurde. Er ist viel in der Welt herumgekommen, doch eine Heimat, wo seine Familie verwurzelt ist, hat er nicht. Seine Großeltern flohen 1948 aus Palästina nach Syrien. Viele Verwandte leben noch heute dort – aber sie blieben Flüchtlinge, bis heute. Die Familie erhielt keine Pässe, sondern lediglich Reisedokumente. Ein Palästinenser, das lernte er früh, ist auf der ganzen Welt zu Hause – oder nirgendwo. Aber er hatte Glück. Was er darunter versteht, zeigt ein kleines Polaroidfoto. Es hängt in seinem Büro an der Pinnwand. Darauf steht er zwischen zwei Freunden, Baris Kumru und Paolo Giusto, eine Urkunde in der Hand: das Einbürgerungsdokument. „Die deutsche Staatsbürgerschaft macht mein Leben leichter“, sagt er. Am 17. August 2020 wurde er Deutscher, das Datum hat er im Kopf. Doch auf dem Weg dorthin musste er einige Hindernisse nehmen.

Zum Glück kommt dabei Durchhaltevermögen, das Al-Naji mehrfach bewiesen hat. Das zeigt seine erste Karriere: Als er vier Jahre alt war, setzte ihn der Vater auf ein Pferd. Der Vater, selbst ein Pferdeliebhaber, arbeitete in Saudi-Arabien, wo Majd einen großen Teil seiner Kindheit und Jugend verbrachte. Kein Tag verging, an dem er nicht auf einem Pferd über Hindernisse sprang. Die Tage waren getaktet durch Schule und Stall. Was als Hobby begann, bekam bald professionellen Charakter. Als Profi-Springreiter trainierte Majd täglich zehn Stunden, morgens von 6 bis 11 Uhr und nachmittags von 16 bis 21 Uhr. „Ich war verrückt“, meint er heute. Schon als Zehnjähriger verdiente er Preisgelder bei Springturnieren und arbeitete als Trainer. Er tingelte durch viele arabische Länder, von einem Turnier zum nächsten, und maß sich mit Erwachsenen. Dabei blieb es nicht aus, dass er hin und wieder stürzte. Als er 13 Jahre alt

→

# BESUCH BEI

---

MAJD  
AL-NAJI



FOTO: DAVID AUSSERHOFER FÜR MPG

49

Setzt auf nachwachsende Materialien: Majd Al-Naji hat einen Katalysator entwickelt, der Lignin etwa aus Sägespänen in Ausgangsstoffe für Biosprit und andere chemische Produkte umwandelt.

war, stürzte er auf einen Metallzaun und wachte im Krankenhaus wieder auf, wo die Ärzte eine Nierenblutung diagnostizierten. Sein Vater hätte ihm daraufhin fast das Springreiten verboten, doch die Erfolge seines Sohnes ließen ihn umdenken. Also machte Majd Al-Naji weiter – und wie: 2008, er hatte bereits mit dem Studium begonnen, qualifizierte er sich für Olympia. Letztlich konnte er dann jedoch nicht an den Spielen teilnehmen, weil ihm die notwendigen finanziellen Mittel fehlten.

Als er nach Deutschland kam, änderte sich seine Einstellung zum Reitsport. Statt Preisen und Erfolgen hinterherzujagen, suchte er beim Reiten nun eher die Erholung, ritt lieber in der Natur als auf dem Parcours. Dennoch kaufte er sich in Leipzig, seiner ersten Station in Deutschland, ein junges Springpferd. Erst als ihm seine Arbeit kaum noch Zeit ließ, war auch das zu Ende. Ganz aufgegeben hat er den Sport allerdings noch immer nicht – irgendwann in den nächsten Jahren will er sich wieder ein Pferd zulegen. Das Springreiten hat ihm

überreden, aber der Start ins Studium ging gründlich daneben: „Im ersten Semester habe ich kein einziges Modul bestanden.“ Erst als sein Vater ihm ins Gewissen redete, riss er sich am Riemen – und fand schließlich Spaß am Fach. Vor allem die praktische Laborarbeit begeisterte ihn. So wollte er auch weiterstudieren, nachdem er 2009 in Damaskus seinen Bachelor gemacht hatte. In Syrien wäre das kaum möglich gewesen, denn von den vielen Studierenden dort bekamen nur wenige die Chance zu einem Masterstudium. Zudem war Forschung kaum möglich, jedenfalls nicht auf der Höhe der Zeit, weil die nötigen Apparaturen fehlten. So bewarb sich Al-Naji über den Deutschen Akademischen Austauschdienst (DAAD) für ein Masterstudium in Deutschland. Er sei sehr dankbar für diese Möglichkeit, sagt er. Doch auch hier brauchte er Glück. „Das Visum zu bekommen, war ein schwieriger und langwieriger Prozess.“ Den Zuschlag bekam nur, wer den Nachweis erbrachte, dass er das Studium finanzieren konnte. Sein Cousin Bassel El Naji, der schon seit den 80er-Jahren in Deutschland wohnte, bürgte für

## Majd Al-Naji möchte unsere Abhängigkeit vom Erdöl beenden – vor allem, um dem Klimawandel entgegenzuwirken: „Das ist die Zukunft.“

in Deutschland noch einen ganz anderen Weg eröffnet. In seiner Leipziger Zeit kommentierte er jahrelang für arabische Fernsehsender internationale Turniere. Dabei konnte er die Reiter auf Englisch oder Deutsch interviewen und in Arabisch moderieren.

Dass er zum Mikrofon griff, war kein Zufall. Der Journalismus hatte ihn schon immer gereizt. Nach dem Abitur liebäugelte er zunächst mit einem Studium der Medien. „Ich wollte alles studieren, nur nicht Chemie“, sagt er. Ausgerechnet in diesem Fach hatte er seine schlechteste Abiturnote. Vielleicht wollte er sich von der Familie emanzipieren und sträubte sich innerlich gegen die Erwartungen. Denn seine beiden Onkel Mahmoud und Omar Al-Naji waren Chemieprofessoren, hatten in Russland beziehungsweise Frankreich studiert. Sie konnten ihn am Ende zwar doch zur Chemie

den monatlichen Betrag. Al-Najis Glück war auch, dass der Bürgerkrieg noch nicht begonnen hatte und es für Studierende noch einfacher war, nach Deutschland zu kommen, als es heute ist.

Der Umzug von Damaskus nach Leipzig, wo er an der Universität seinen Master machte, war ein Sprung ins kalte Wasser, denn er konnte kein Deutsch. Doch dem weltoffenen Al-Naji fällt das Erlernen von Sprachen leicht. Diese Fähigkeit half ihm auch auf seinen weiteren Stationen. Ein Studienjahr verbrachte er in Spanien, an der Universität von Cordoba. Später, nach der Promotion bei Roger Gläser an der Uni Leipzig, forschte er ein Jahr lang in Belgien, wo er Französisch lernte. Inzwischen spricht er fünf Sprachen: Arabisch, Englisch, Deutsch, Spanisch und Französisch. Sein heutiges Forschungsthema fand er schon während der Masterarbeit: die grüne Chemie. Am Max-

Planck-Institut leitet er inzwischen die Arbeitsgruppe „Bioraffinerie und nachhaltige Chemie“. Worum es dabei geht, erklärt Majd Al-Naji mit Begeisterung – und mit Kreativität. Das kann man sogar an der Wand seines Büros sehen. Dort hängen gerahmte Grafiken, die einmal in Zeitschriften abgebildet waren. Er hat sie entworfen und von einem befreundeten Zeichner ausarbeiten lassen. Da wird etwa aus einem Stück Holz ein Plastikgegenstand. „Kunst ist das beste Werkzeug, um Wissen zu vermitteln“, sagt der Wissenschaftler.

Al-Naji möchte Treibstoffe und andere Produkte der chemischen Industrie aus pflanzlichen Materialien erzeugen und so unsere Abhängigkeit vom Erdöl beenden, vor allem, um dem Klimawandel entgegenzuwirken: „Das ist die Zukunft“, sagt er.

Damit hat er sich einiges vorgenommen, denn Erdöl bestimmt seit mehr als einem Jahrhundert viele Facetten unseres Alltags und beschäftigt einen ganzen Industriezweig: die petrochemische Industrie. Während dieser langen Zeit ist eine ausgeklügelte Technik entstanden, die dabei hilft, eine Vielzahl von Produkten herzustellen. Der Vorsprung der Petrochemie vor der grünen Chemie ist enorm. Der größte Teil des geförderten Erdöls dient als Brennstoff. Als Diesel, Benzin, Kerosin oder Schweröl treibt es Autos, Flugzeuge und Schiffe an. Doch Erdöl steckt auch in vielen Alltagsprodukten, von denen man es kaum vermutet. Zum Beispiel in Kaugummi, Kerzen, Reinigungsmitteln und in vielen Kosmetikprodukten wie Körperlotionen oder Duschgels. Auch die Kunstfasern in vielen Kleidungsstücken sind Pro-

→

Scheut keine Hürde: Als Springreiter brachte es Majd Al-Naji bis zur Olympiaqualifikation. Auch auf seinem Weg zum Forschungsgruppenleiter in Deutschland musste er einige Hindernisse nehmen.



FOTO: RABII MOGHRABI/AFP VIA GETTY IMAGES



Chemische Wiederverwertung: Oisong Hu, Francesco Brandi, Majd Al-Naji und Jose Chacon (von links) suchen nach Wegen, um aus Pflanzenabfällen wie etwa Sägespänen oder Stroh und Plastikmüll nützliche Substanzen zu gewinnen.

52

dukte der petrochemischen Industrie. Vor allem Kunststoffe aber sind in den allermeisten Fällen Erdölprodukte – und inzwischen nicht nur als Klimakiller in Verruf geraten. Plastik sammelt sich in erschreckender Menge in den Meeren an, weil es kaum verrottet. Und wenn, dann zerfällt es in immer kleinere Teile, die als Mikroplastik längst die gesamte Umwelt kontaminieren.

Al-Naji sucht nach Wegen, solche Produkte aus Naturstoffen herzustellen – ganz ohne Erdöl. Um der Umwelt möglichst wenig zu schaden, hat er sich noch höhere Ziele gesteckt. Eine seiner Vorgaben: Anders als beim heute verfügbaren Biosprit sollen die Ausgangsstoffe keine Feldfrüchte sein, die als Lebensmittel auf den Tisch kommen könnten oder eigens für die Treibstoffproduktion angebaut werden. Denn Nahrung ist in vielen Ländern ohnehin schon knapp und die Fläche, die sich landwirtschaftlich nutzen lässt, auch. Al-Naji setzt allein auf Abfälle, die sonst in der Verbrennungsanlage oder auf dem Kompost landen würden, wie Sägemehl oder Küchenabfälle. Er hat auch schon im Wald Rinde gesammelt oder auf dem Fußballplatz, wo er mit Kollegen kickt, Gras geschnitten und für seine Versuche eingesetzt. Doch das ist noch nicht alles: Er hat auch stets die Kosten im Blick. Teure Materialien vermeidet er. Alles, was er neben den organischen Abfallprodukten braucht, ist preiswert und in der Natur reichlich vorhanden – das ist seine zweite Vorgabe.

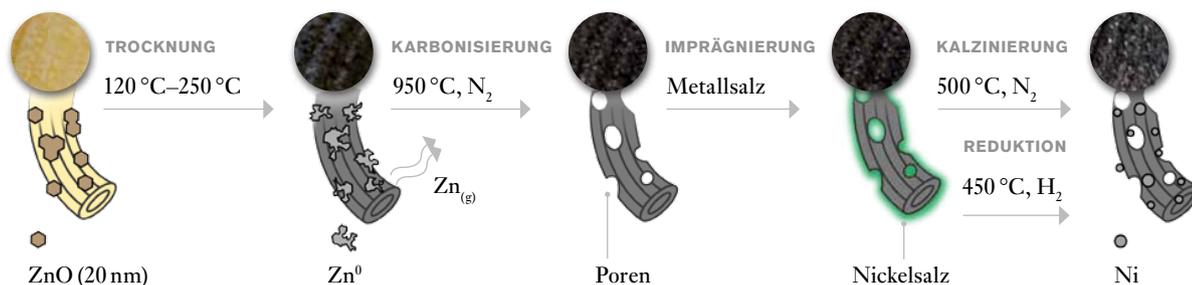
Wie seine Zutaten aussehen und wie er sie verarbeitet, kann man sehen, wenn man ihn durch sein Labor begleitet. Hier stehen Geräte, die man eher in einer Küche als in einem Chemielabor erwarten würde: eine Nudelmaschine, ein Pizzaofen, ein Mixer. Auch viele der Chemikalien, die er benutzt, sind Naturstoffe, wie sie auch in Küchenregalen stehen – wenn auch in anderen Behältern und mit anderen Etiketten versehen: Olivenöl, Salz, Palmöl, Vitamin C oder Aminosäure. Chemiker, heißt es, seien gute Köche. Al-Naji und sein Kollege Francesco Brandi nehmen das wörtlich und nutzen ein von Markus Antonietti gegründetes „Küchenlabor“.

Im KitchenLab stellt Al-Najis Team Katalysatoren her. Kaum eine chemische Reaktion kommt ohne eine solche Anschubhilfe aus. Doch die Katalysatoren, die in der Petrochemie zum Einsatz kommen, eignen sich nicht für die grüne Chemie. Andere sind zu teuer, weil sie Edelmetalle wie Platin oder Gold enthalten oder nicht stabil genug sind. Al-Naji hat es unter anderem auf Katalysatoren abgesehen, die im Holz enthaltenes Lignin depolymerisieren, das heißt in kleinere, chemisch nutzbare Einheiten spalten. Mit seinen Kollegen hat er dafür ein einfaches Rezept entwickelt: Man nehme acht Teile proteinreichen Abfalls und zwei Teile Zinkoxid, vermische alles im Mixer mit Glucose aus Holzabfällen und einer Spur Harnstoff zu einer homogenen Masse und gebe Wasser hinzu, sodass eine streichfähige Paste entsteht. Mit der Nudelmaschine

forme man daraus dicke Spaghetti. Die stecke man für einen Tag bei 120 bis 250 Grad in den Pizzaofen, bis das Wasser verdunstet ist. Anschließend kommen die ausgehärteten Teile in den Hochtemperaturofen, wo bei 950 Grad das Mehl zu Kohlenstoff geröstet wird. Das Zinkoxid verdampft dabei und hinterlässt zahllose winzige Poren. Die fertigen Spaghetti kommen nun noch sechs Stunden in eine Nickellösung – fertig ist der Katalysator. Der Clou dabei: Man braucht mit dieser Methode wesentlich weniger Nickel als bei herkömmlichen Katalysatoren dieses Typs. Denn die Poren, die beim Verdampfen des Zinkoxids entstehen, sind extrem klein. So steht dem Metall, das als eigentlicher Katalysator dient, eine sehr große Oberfläche zur Verfügung. Die Spaghetti-Katalysatoren sind nicht

vom Kraftstoff bis zum Kunststoff. Zudem könnten die Bioraffinerien anders als petrochemische Fabriken in Form kleiner mobiler Anlagen arbeiten. Al-Naji möchte es damit beispielsweise Landwirten ermöglichen, Stroh und andere lignocellulosehaltige Abfälle zu einem nützlichen Produkt zu verarbeiten. Derzeit entwickelt er zudem Katalysatoren, die Kunststoffabfälle in Ausgangsstoffe für verschiedene chemische Produkte wie etwa Treibstoffe oder Kunststoffe umwandeln. Es ist denkbar, dass solche Anlagen auf Schiffen installiert werden, die auf den Weltmeeren Plastikmüll einsammeln und sofort verarbeiten. Das sind keineswegs nur Träumereien. Al-Naji strebt Patente an, die auf seiner Arbeit zur nachhaltigen Chemie und zur Bioraffinerie basieren. Er könnte sich vorstellen,

GRAFIK: GCO NACH MAJD AL-NAJI



**Pastakatalysator:** Die Potsdamer Forschenden stellen ihn her, indem sie Nudeln aus einfachen Zutaten bei 950 Grad Celsius rösten, sodass sich die organischen Bestandteile in porösen Kohlenstoff umwandeln. Die Kohlenstoffnudeln beladen sie etwa mit einem Nickelsalz, kalzinieren, sprich brennen sie und reduzieren das Nickelsalz zu Nickel.

nur billiger und nachhaltiger als die Konkurrenzprodukte, sondern auch effizienter. Doch Al-Naji gibt sich damit nicht zufrieden. Inzwischen hat er die gesamte Produktionskette im Blick, vom Naturstoff bis zum fertigen Produkt. Er experimentiert mit kleinen Bioraffinerien, in denen die Katalysatoren nur ein Bestandteil sind.

Damit diese Anlagen möglichst effektiv arbeiten, hat er ein durchlaufendes System entwickelt, bei dem man wie am Fließband ständig auf der einen Seite Nachschub hineingibt und auf der anderen das fertige Produkt erhält. Was im Labormaßstab funktioniert, hat seine Bewährungsprobe auch schon im größeren Stil bestanden. Ein Pilotprojekt mit mehreren Unternehmen hat immerhin einen Ausstoß von 300 Litern depolymerisiertes Lignin an einem Tag erzielt. Al-Naji ist zuversichtlich, mit seiner Methode Ausgangsstoffe für viele Produkte erzeugen zu können, die derzeit noch Erdöl benötigen –

sich mit einem Start-up selbstständig zu machen, aber auch als Professor an eine Hochschule zu gehen, an der er mit seiner Forschung etwas bewegen kann.

Inzwischen fühlt sich Majd Al-Naji in Deutschland wohl, es ist seine Heimat geworden. Er betont, wie dankbar er vielen Menschen für die Unterstützung bei seiner wissenschaftlichen und persönlichen Entwicklung ist, vor allem Markus Antonietti, dem es ebenfalls wichtig ist, über den eigenen Tellerrand zu schauen. Bei ihm hat er gelernt, wie man, von einem einfachen Experiment ausgehend, eine große Idee umsetzt. Und nicht nur das – Antonietti hat ihn auch gelehrt, das Leben in vollen Zügen zu genießen. Wenn Al-Naji und Kollegen hin und wieder abends mit dem Direktor bei einem Glas Wein zusammensitzen, sprechen sie über alle Themen des Lebens, Kunst, Politik, Philosophie, Sport – und natürlich auch ein bisschen über Chemie.



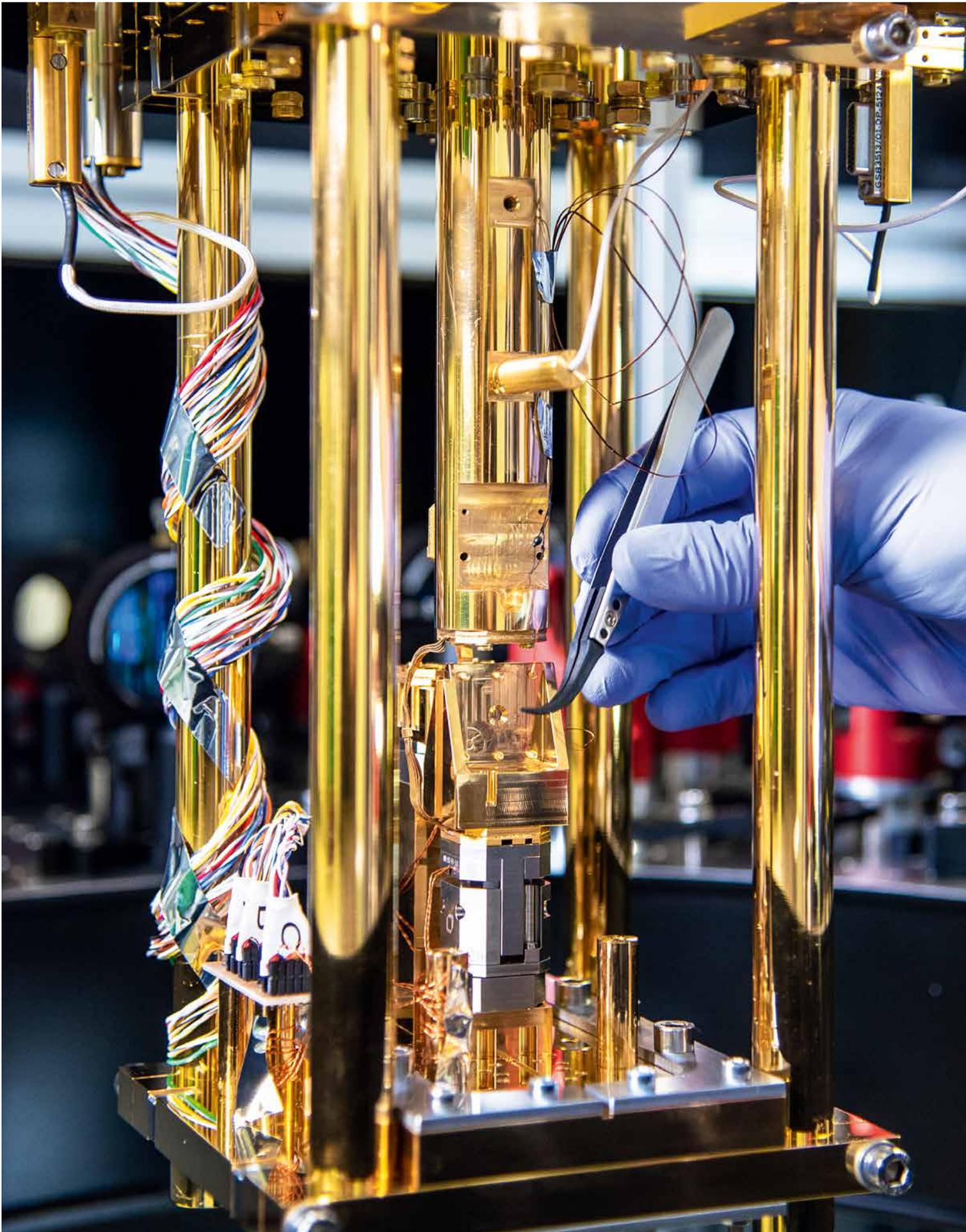


FOTO: FRIEDRIKE HERGET / MPI FÜR DIE PHYSIK DES LICHTS

# ZWEITER BLICK

*MAX-PLANCK-INSTITUT  
FÜR DIE PHYSIK DES LICHTS*

In dem Kryostaten (links) arbeiten Physiker mit der kältesten Flüssigkeit der Welt: einer speziellen Mischung von flüssigem Helium. Damit erreichen sie minus 273,14 Grad Celsius, also fast den absoluten Nullpunkt. Bei derart niedrigen Temperaturen stehen Atome nahezu still. Das gilt auch für die Farbstoffmoleküle, welche die Forschenden in eine dünne Kristallschicht (rechts) eingebettet haben. Einzelne Moleküle können sie dann mit Laserlicht gezielt zu Schwingungen anregen, um vom Licht Information auf sie zu übertragen. Auf diese Weise könnten sich solche Quantenemitter für photonische Schaltkreise oder die Quanteninformati-  
onsverarbeitung nutzen lassen.

55

# IM GETRIEBE DER MEINUNGSMASCHINE

TEXT: PETER HERGERSBERG

56

Politische Debatten geraten heute oft zur verbalen Keilerei – vor allem in sozialen Medien. Um dem entgegenzuwirken, untersuchen Eckehard Olbrich und Sven Banisch am Max-Planck-Institut für Mathematik in den Naturwissenschaften sowie Philipp Lorenz-Spreen am Max-Planck-Institut für Bildungsforschung, wie es zu Polarisierung kommt und wie Meinungsbildung in Gruppen funktioniert.

Wenn der Mathematiker Sven Banisch erklärt, warum er politische Entwicklungen untersucht, berichtet er von einem Versuch mit Ratten: Biologen beobachteten in kleinen Gruppen der Tiere, dass sich stets dasselbe Zahlenverhältnis kooperierender, einzelgängerischer und von anderen gemobbter Tiere ergab. Dieselbe Ordnung entstand auch, wenn die Versuchsleiter aus verschiedenen Experimenten nur Tiere eines Typs, zum Beispiel Einzelgänger, in einer neuen Miniaturgesellschaft zusammenbrachten. „Solche Formen sozialer Selbstorganisation möchte ich verstehen“, sagt Sven Banisch, der am Leipziger Max-Planck-Institut für Mathematik in den Naturwissenschaften forscht.

Um einen sich selbst organisierenden Prozess handelt es sich auch, wenn sich in einer Debatte ein Konsens oder polarisierte Standpunkte herausbilden. Fachleute sprechen von der Meinungsdynamik. Diese ist ein Schwerpunkt des Odysseus-Projekts, kurz für „Opinion Dynamics and Cultural Conflict in European Space“. Sven Banisch hat es gemeinsam mit Eckehard Olbrich initiiert, der am Leipziger Max-Planck-Institut eine Forschungsgruppe leitet. In diesem Projekt, das Olbrich heute koordiniert, haben Forschende von acht Institutionen aus sechs Ländern von 2017 bis zum Sommer 2021 unter anderem untersucht, wie wir uns in Kontroversen positionieren oder wie Populismus Meinungen zu den Rändern des politischen Spektrums treibt. Und das vor dem Hintergrund, dass heute digitale und vor allem soziale Medien die politischen Auseinandersetzungen prägen. Dort werden Debatten selten moderiert und arten oftmals in einen wüsten Schlagabtausch aus.

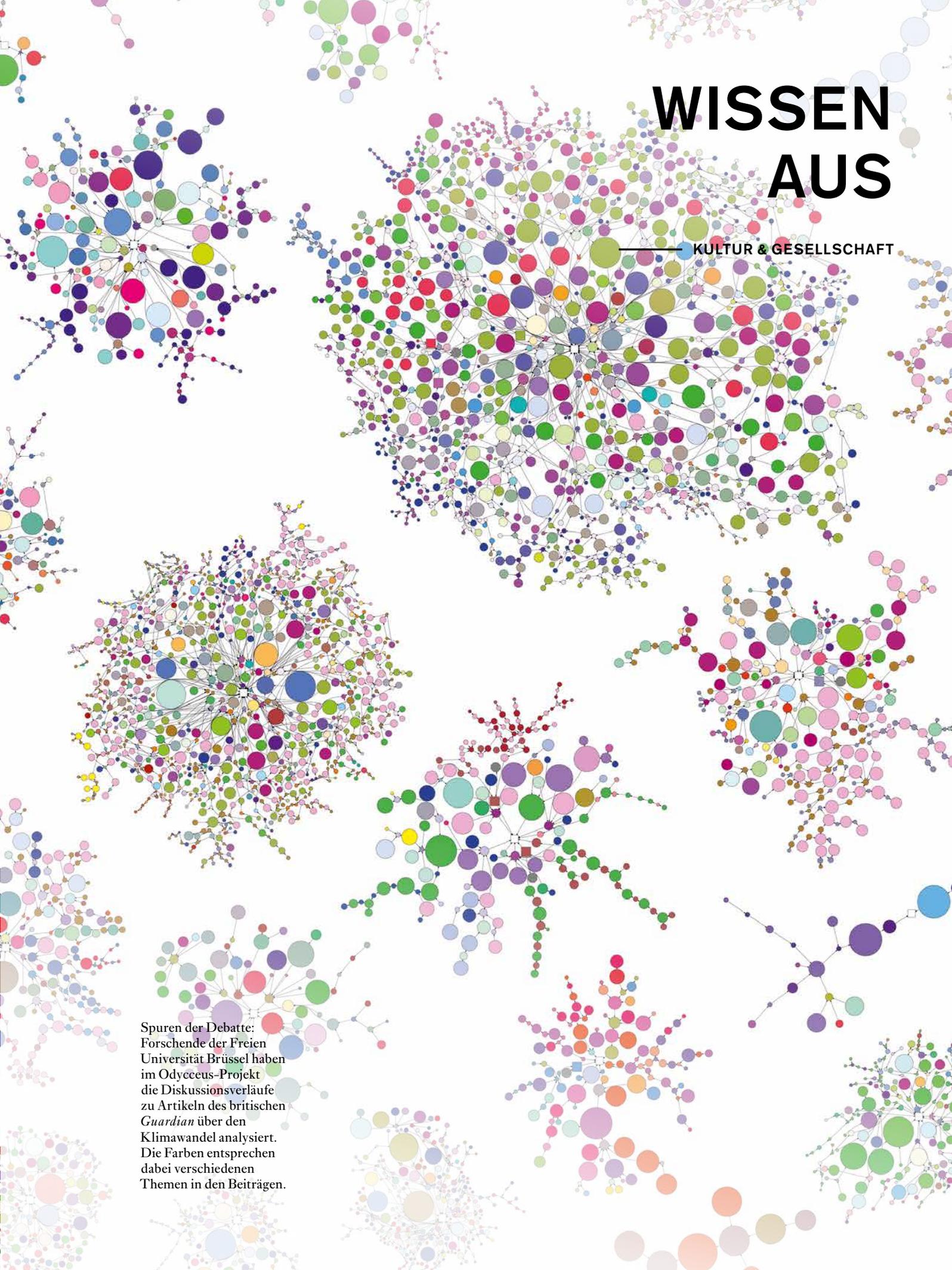
„Durch die Digitalisierung stehen uns viel mehr und schnellere Informationen zur Verfügung, und durch Kommentarfunktionen und soziale Medien haben mehr Menschen die Möglichkeit, eine Meinung zu äußern“, sagt Eckehard Olbrich. „Es ist kaum möglich, die Debatten im Detail zu verfolgen und nachzuvollziehen, warum Konflikte entstehen.“ Daher entwickeln einige der Odysseus-Partner mathematische Werkzeuge, die helfen, die Informationsflut zu bewältigen. „Wir hoffen, dass wir dazu beitragen können, Debatten transparenter zu machen und Auseinandersetzungen zu versachlichen“, sagt Olbrich.

Sein Kollege Sven Banisch entwickelt zu diesem Zweck Modelle, die abbilden, unter welchen Bedingungen eine Debatte zu einem gemeinsamen Standpunkt oder aber zu unüberbrückbaren Gegensätzen führt. Aus den mathematischen Parametern und Startbedingungen, mit denen die Modelle diese Prozesse realistisch wiedergeben, lässt sich schließen, welche gesellschaftlichen Faktoren dabei eine Rolle spielen. Die Modellrechnungen überprüfen Banisch und seine Kollegen anhand von Daten. Besonders gut geht das mit Experimenten, die unter definierten Bedingungen stattfinden. Daher hat Sven Banisch gemeinsam mit dem Volkswirt Hawal Shamon, der am Forschungszentrum Jülich arbeitet, untersucht, wie stark die Voreingenommenheit von Testpersonen



# WISSEN AUS

KULTUR & GESELLSCHAFT



Spuren der Debatte:  
Forscher der Freien  
Universität Brüssel haben  
im Odyceus-Projekt  
die Diskussionsverläufe  
zu Artikeln des britischen  
*Guardian* über den  
Klimawandel analysiert.  
Die Farben entsprechen  
dabei verschiedenen  
Themen in den Beiträgen.

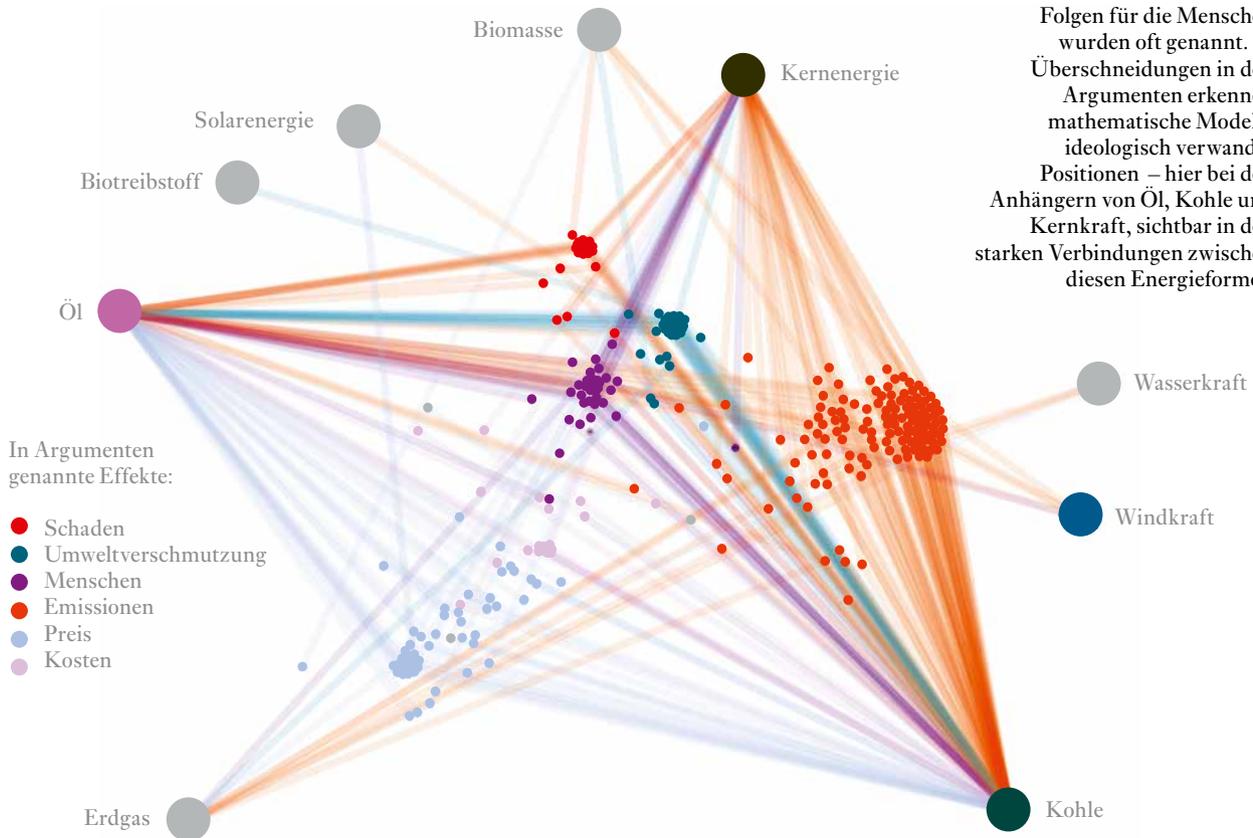
gegenüber verschiedenen Energieträgern die Meinungsbildung innerhalb einer Gruppe bestimmt. Diese kognitive Verzerrung – Fachleute sprechen von einem Bias – bewirkt, dass glühende Anhänger von Kohle- oder Windkraft die Argumente für ihre Energieform besonders gewichtig finden. Das ist vielleicht nicht überraschend – die kollektive Wirkung dagegen schon. Denn in einer Gruppe führt ein starker kognitiver Bias zur Polarisierung. Bevorzugen Menschen eine Energieform weniger stark, so kommt es jedoch zu einem anderen Effekt: „Für uns war auch überraschend, dass sich die Probanden bei einer schwachen Voreingenommenheit schnell auf eine Haltung einigten“, sagt Banisch. Das war bei Energieträgern wie Biomasse oder Gas der Fall, die öffentlich nicht so prominent und hitzig diskutiert werden. Ohne jede Voreingenommenheit gelangt

eine Gruppe ebenfalls zum Konsens, der liegt aber unentschieden zwischen Pro und Contra, und es dauert zudem lange, bis er erreicht wird. „Wir hoffen, dass Debatten konstruktiver verlaufen, wenn wir zeigen, welche Effekte der evolutionär gewachsene kognitive Apparat auf kollektiver Ebene hat“, sagt Sven Banisch.

## Austausch fördert Polarisierung

Diese Voreingenommenheit lässt sich dabei selbst durch Austausch mit anderen nicht überwinden – im Gegenteil. Das hat ein Team gezeigt, an dem Philipp Lorenz-Spreen beteiligt war. Der Physiker, der am Max-Planck-Institut für Bildungsforschung in Berlin arbeitet, setzt ebenfalls auf Modelle – und auf Daten aus sozialen Medien.

Er hat gemeinsam mit deutsch-italienischen Partnern gezeigt, wie sozialer Austausch Meinungen auseinanderreiben kann. Und je eifriger Nutzerinnen und Nutzer Kommentare posten, desto extremer werden ihre Ansichten. Auf diese Weise haben die Forschenden die Spaltung reproduziert, die es auf Twitter zu den drei US-amerikanischen Aufregertemen Obamacare, Waffenkontrolle und Abtreibung gibt – wenn auch das Modell zu weniger weit auseinanderliegenden Positionen führte. „Die anfängliche Hoffnung, das Internet könne den konstruktiven Austausch zwischen Menschen mit unterschiedlichen Meinungen fördern, hat sich nicht erfüllt“, sagt Lorenz-Spreen. Hinter der zersetzenden Wirkung des Austauschs steckt wiederum Psychologie: Andere Meinungen auszuhalten, fällt uns schwer. Wir neigen zur sozialen Homophilie, diskutieren lieber mit



GRAFIK: SVEN BANISCH/MPF FÜR MATHEMATIK IN DEN NATURWISSENSCHAFTEN

Gleichgesinnten. So entstehen Echokammern, in denen eine Meinung deutlich überwiegt und Menschen sich wechselseitig zu immer extremen Auffassungen schieben können.

Dafür sind nicht einmal inhaltliche Argumente notwendig, zustimmende oder ablehnende Äußerungen reichen bereits. „Das geht ja gar nicht“ oder „Ja, völlig richtig“ gehören da noch zu den gepflegteren wörtlichen Äußerungen, Unterstützung lässt sich sogar einfach als Like verteilen. Soziales Feedback nennen Sozialwissenschaftler solche Kommentare. Sven Banisch und Eckehard Olbrich haben gezeigt, dass die zustimmenden oder ablehnenden Beiträge helfen, in einer Gruppe Einigkeit herzustellen, und zwar sehr schnell. Homophilie ist auch hier wieder der Grund: Die meisten Menschen freuen sich über Schulterklopfen und fürchten Ohrfeigen, auch wenn diese nur verbal ausgeteilt werden. Daher versammeln sich Gruppenmitglieder verstärkt hinter einer Meinung, zu der es anfangs womöglich nur eine Tendenz gab. Evolutionär ergibt das durchaus Sinn. Denn so fanden unsere frühen

Vorfahren rasch zu Entscheidungen, wenn es darum ging, die Gruppe spontan zur Jagd zu versammeln und gegenüber feindlichen Horden die Waffen oder die Flucht zu ergreifen. „In größeren Gruppen führt soziales Feedback bei Meinungsunterschieden jedoch schnell zur Polarisierung und zur Entstehung von Echokammern“, erklärt Sven Banisch. Wie groß die gesellschaftlichen Folgen der widerhallenden Meinungen sind, wird jedoch noch diskutiert. Studien etwa aus den USA zeigen, dass sich selbst die besonders aktiven Meinungsmacher nur selten ausschließlich in Echokammern aufhalten. Die allermeisten konsumieren zusätzlich andere Medien, mögen die auch vielleicht so wenig ausgewogen berichten wie *Fox News*.

## Analyse von Tweetgefechten

Dass die gesellschaftlichen Auswirkungen der modellierten Effekte noch nicht klar sind, ist nicht der einzige Grund, die Modellergebnisse mit Vorsicht zu betrachten – auch für die Modellierer selbst: „Wir simulieren Mechanismen der Meinungsbildung, aber kein reales Verhalten“, sagt Philipp Lorenz-Spreen. Denn dieses werde auch durch Umwelteinflüsse und individuelle Unterschiede bestimmt, die solche Modelle derzeit noch nicht erfassen. Eckehard Olbrich meint ebenfalls, dass die Simulationen noch näher an die Realität herankommen können: „Da ist noch viel Luft nach oben.“ Trotzdem sind die Modellrechnungen auch in der jetzigen Form hilfreich. „Sie helfen uns dabei, Theorien zu entwickeln, wie Meinungsbildung funktioniert“, sagt Sven Banisch.

Zum Beispiel eine Theorie darüber, wie aus Meinungen zu verschiedenen Themen ein geschlossenes Weltbild wird und warum es dabei zur Lagerbildung kommt. Warum etwa sind Befürworter eines rigiden Klimaschutzes oft auch offener für Einwanderung – und umgekehrt? Mit einem Modell konnten Sven Banisch und

Eckehard Olbrich das an einem Beispiel aus der Energiepolitik nachvollziehen: Dort stehen sich Verfechter von Kohlestrom und Kernkraft vergleichsweise nahe, während es zwischen ihnen und den Befürwortern erneuerbarer Energien eine deutlich größere Distanz gibt. Denn manche Argumente wie etwa die Notwendigkeit einer stabilen Energieversorgung oder die Meinung, dass Windräder und Solarparks die Landschaft verschandeln, sprechen sowohl für Kohle als auch Atomkraft. Mit den Argumenten für erneuerbare Energien gibt es dagegen weniger Überschneidungen. Auf den unterschiedlichen argumentativen Fundamenten formen sich so verschiedene Ideologien.

Die politischen Auseinandersetzungen ideologischer Lager untersucht das Leipziger Team auch anhand von Daten aus der Wirklichkeit. Dafür sind die sozialen Netzwerke bestens geeignet, weil in ihnen vielfältige Informationen offenliegen. Das gilt vor allem für Twitter. Hier lassen sich Konfliktlinien und Allianzen daran erkennen, wer welche Tweets retweetet, das heißt mit der eigenen Gefolgschaft teilt, und wer wem antwortet. Daher hat das Leipziger Team eine Software geschrieben, die aus Twiternutzern und ihren Tweets Netzwerke knüpft und visualisiert. Darin repräsentieren jeder Knoten eine Nutzerin oder einen Nutzer und jede Linie zwischen zwei Knoten einen Retweet beziehungsweise eine Antwort. Stark miteinander verknüpfte Knoten ordnet das Programm zudem nah beieinander an. Damit Interessierte Debatten selbst analysieren können, haben die Leipziger Forschenden die Software unter dem Namen Twitterexplorer ins Netz gestellt – samt der Anleitung, wie sie sich installieren lässt.

Mit den Algorithmen haben die Leipziger Forschenden zwei Tweetgefechte genauer untersucht: jenes zur sächsischen Landtagswahl 2019 und das zu Krawallen in Leipzig während der Silvesternacht 2019/20. In beiden Fällen bildeten sich im Retweet-Netzwerk zwei Meinungspole und ein deutlich schwächer besetzter Bereich da-

---

### AUF DEN PUNKT GEBRACHT

Forschende der Max-Planck-Gesellschaft möchten die Mechanismen aufdecken, die zur Polarisierung von Debatten etwa in sozialen Medien führen. Nicht zuletzt um dem entgegenzuwirken, haben sie das Odyceus-Projekt angestoßen.

Voreingenommenheit und sozialer Austausch können zur Polarisierung führen. Dabei kann eine laute Minderheit die leise Mehrheit zum Schweigen bringen.

Künstliche Intelligenz soll helfen, Meinungen und Argumentationslinien aus Texten herauszulesen.

zwischen. Doch auch die Pole waren unterschiedlich stark besetzt. Die Mehrheitsfraktion, in der Politikerinnen und Politiker der SPD, der Linken und der Grünen sowie einige Medien wie der MDR Sachsen oder *Bild Leipzig* einander mit Retweets bedachten, brachte es auf fast dreimal so viele Anhänger wie die Minderheit vor allem mit Vertretern von AfD und Pegida. Dazwischen tummelten sich Politiker von CDU und FDP sowie weitere Medien wie MDR aktuell oder *Bild Dresden*.

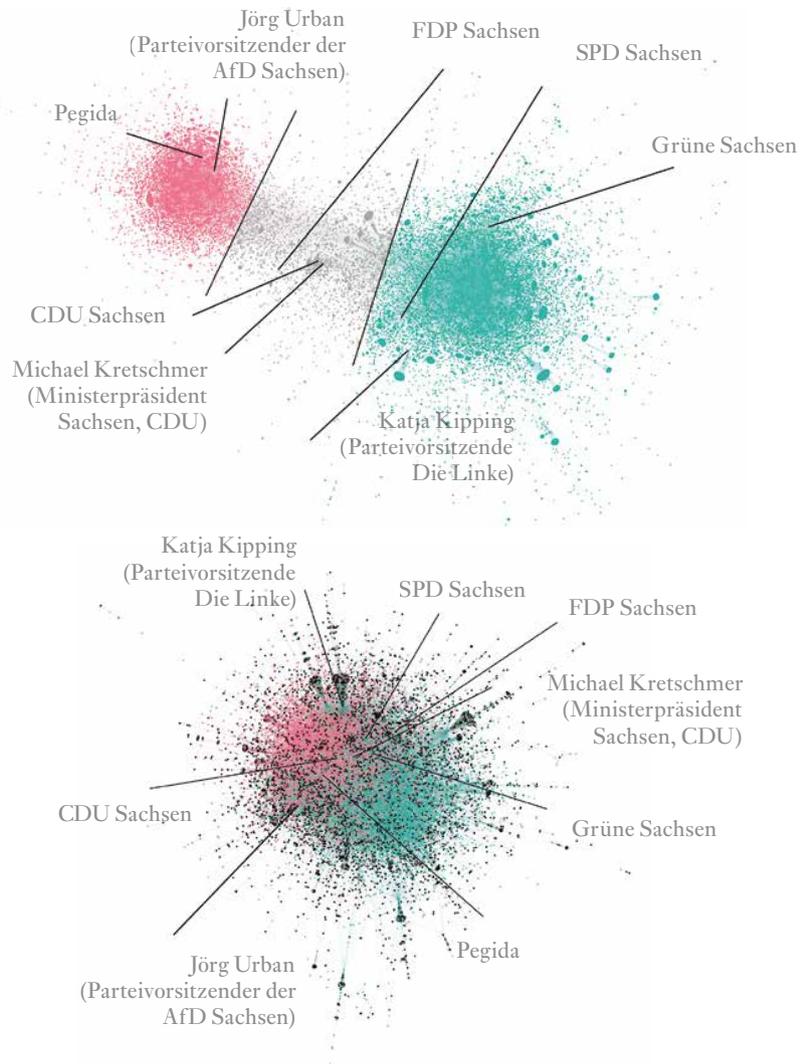
## Psychologische Schweigespirale

Ein ganz anderes Bild ergab sich für das Netzwerk der Antworten oder Replies, wie es im Twitterjargon heißt. Die beiden Cluster schienen sich nun geradezu ineinander zu verkeilen – vor allem die rechtslastige Minderheit suchte die Konfrontation. Sie antwortete genauso oft wie die dreimal größere Mehrheit. Hier kommt wieder Psychologie ins Spiel. Weil die meisten Menschen Kritik, allemal Beschimpfungen, fürchten, halten sie sich im Zweifel mit Äußerungen zurück. „So kann es zu einer Schweigespirale kommen“, sagt Felix Gaisbauer, der am Max-Planck-Institut für Mathematik in den Naturwissenschaften promoviert: „Eine laute Minderheit kann eine leise Mehrheit zum Schweigen bringen, sodass sie öffentlich vielleicht sogar als Mehrheit wahrgenommen wird.“ Die Gefahr besteht vor allem dann, wenn klassische Medien das Geschehen etwa auf Twitter abbilden und der Entrüstung der Minderheit so eine noch größere Bühne bieten.

Nicht zuletzt um Auseinandersetzungen konstruktiver zu gestalten, entwickeln die Odysseus-Partner auch mathematische Instrumente für die Textanalyse. „Wir möchten Kausalzusammenhänge, Meinungen und Argumentationslinien aus Texten herauslesen und so aufbereiten, dass sie leichter nachvollziehbar werden“, sagt Eckehard Olbrich. Dabei setzen die Forschenden auf künstliche Intelligenz, genauer: auf maschinelles Lernen. So

hat ein Team um Katrien Beuls und Tom Willaert von der Freien Universität Brüssel den *opinion facilitator* entwickelt, der in Texten Kausalzusammenhänge erkennt sowie Ursachen und Wirkungen katalogisiert. Beispielhaft angewendet hat die Gruppe das Instrument auf Artikel, die im britischen *Guardian* zum Klimawandel erschienen sind. Es zeigt, ob für eine Wirkung wie etwa die Erderwärmung verschiedene Ursachen diskutiert werden, also beispielsweise die menschlichen Treibhausgasemissionen ebenso wie eine erhöhte Sonnenaktivität. Auch Eckehard Olbrich

hat sich auf maschinelles Textverständnis spezialisiert. Er bringt dabei seine mathematischen Fähigkeiten mit seinem eigenen politischen Interesse zusammen. Konkret arbeitet er an Rechenvorschriften – vor allem sogenannten Topic Models –, die Meinungen aus Presseberichten, Posts und anderen Online-Veröffentlichungen herauslesen sollen. Dafür müssen die Programme erst einmal die Themen erkennen – auch dann, wenn diese nicht explizit genannt werden. Also lernen die Algorithmen von Trainingsdaten etwa, wie wahrscheinlich es in einem Text um Mobilität geht,



Sichtlich gespalten: Anhänger eines AfD-nahen (rosa) und eines eher linksliberalen (türkis) Lagers teilten zur sächsischen Landtagswahl 2019 vor allem Beiträge Gleichgesinnter. Im Retweet-Netzwerk (oben) erscheint das als Polarisierung. In der Mitte zwischen beiden Lagern stehen weniger Nutzer (grau). Im Reply-Netzwerk (unten) rücken die beiden Cluster zusammen, weil vor allem die AfD-nahe Fraktion auf die Tweets der Gegner antwortete.

wenn darin Begriffe wie Verkehr, Zug, Autobahn und Flughafen auftauchen. Solche Zusammenhänge erkennen die Algorithmen dann selbstständig auch bei neuen Themen wie etwa Umwelt oder Recht und Ordnung.

Losgelassen hat Olbrich die Formeln auf die Wahlprogramme, welche die Parteien Deutschlands und anderer europäischer Länder sowie der USA in den vergangenen Jahrzehnten veröffentlicht haben. Die politischen Absichtserklärungen hat das Wissenschaftszentrum Berlin in einem Projekt namens Manifesto digitalisiert. „Themen identifizieren wir mit den Topic Models schon sehr gut“, sagt Olbrich. Das hilft bereits, die Programme zu vergleichen. Nun geht es darum, dass die künstliche Intelligenz auch Haltungen zu den Themen erkennt. Dabei versuchen die Leipziger Forschenden stets nachzuvollziehen, wie die Algorithmen zu ihren Ergebnissen kommen. Selbstverständlich ist das nicht: „Die praktischen Anwender, etwa die Leute von Google, sind beim Textverständnis schon viel weiter“, sagt Olbrich. Doch da wisse man kaum, anhand welcher Kriterien die Algorithmen Bedeutungen zuordnen. Da bleibt unklar, ob die Algorithmen tatsächlich einen realen Zusammenhang erkennen oder diesen nur konstruieren. Klar, dass Letzteres Debatten ebenso verzerren kann wie Fake News.

## Qualitätsprüfung durch Stupser und Schübe

Mit mathematischen Werkzeugen für die Textanalyse will das Leipziger Team auch dazu beitragen, Fragen zu beantworten, an denen sich die Sozialwissenschaften derzeit abarbeiten. Das war für Eckehard Olbrich sogar eine wesentliche Motivation, im Jahr 2015 das Odyceus-Projekt anzustoßen. Konkret ging es darum, die Hintergründe der Pegida-Bewegung aufzudecken, die nach 2014 einigen Zulauf fand: Handelte es sich bei den Demonstrationen gegen muslimische Mitbürgerinnen und -bürger nur um

eine weitere rechtspopulistische Bewegung? Ließ sich Pegida noch in das klassische Links-rechts-Schema einordnen, das stark von ökonomischen Kriterien geprägt ist? Also auf der einen Seite die Befürworter des freien Marktes und auf der anderen jene, die für mehr staatliches Eingreifen und Umverteilung plädieren. Viele Soziologen ziehen die Konfliktlinie heute eher entlang kultureller Unterschiede, die mit Weltoffenheit und Heimat-treue verbunden sind. Eckehard Olbrich arbeitet daran, diese Rekonfiguration des politischen Raums mit Algorithmen aus einschlägigen Texten herauszulesen.

Die sozialen Medien können für eine solche Transformation als Schmiermittel wirken. Ein Beispiel ist der Graben, den Donald Trumps Twitterwut über Jahre immer weiter auf-riss. Trumps wichtigstes Werkzeug dabei: alternative Fakten. Wenn sich Fake News leichter als solche identifizieren und weniger leicht verbreiten ließen, könnte die gemeinsame Faktenbasis, die heute vielen Debatten fehlt, wieder entstehen. Philipp Lorenz-Spreen möchte die Nutzerinnen und Nutzer sozialer Medien daher dazu bringen, sich mehr mit der Belastbarkeit von Behauptungen zu beschäftigen. Mit einem internationalen Team um Ralph Hertwig, Direktor am Max-Planck-Institut für Bildungsforschung, hat er Vorschläge erarbeitet, die nicht auf inhaltlichen Kriterien, sondern nur auf äußeren Merkmalen beruhen: Eine Darstellung von Inhalten, die deren Glaubwürdigkeit anhand der Quellen oder Absender leichter erkennbar macht, gehört ebenso dazu wie Versuche, das Teilen von Beiträgen zu verlangsamen, etwa durch zusätzlich notwendige Klicks, wenn User eine Meldung weiterleiten wollen, ohne sie gelesen zu haben. Sozialwissenschaftler nennen solche Interventionen Nudges, also Stupser. „Wir sind uns bewusst, dass Nudging Menschen bevormundet“, sagt Philipp Lorenz-Spreen. „Deshalb müsste immer transparent sein, dass es sich um Nudges handelt.“

Eine weniger paternalistische Intervention sind Boosts, sprich Schübe für

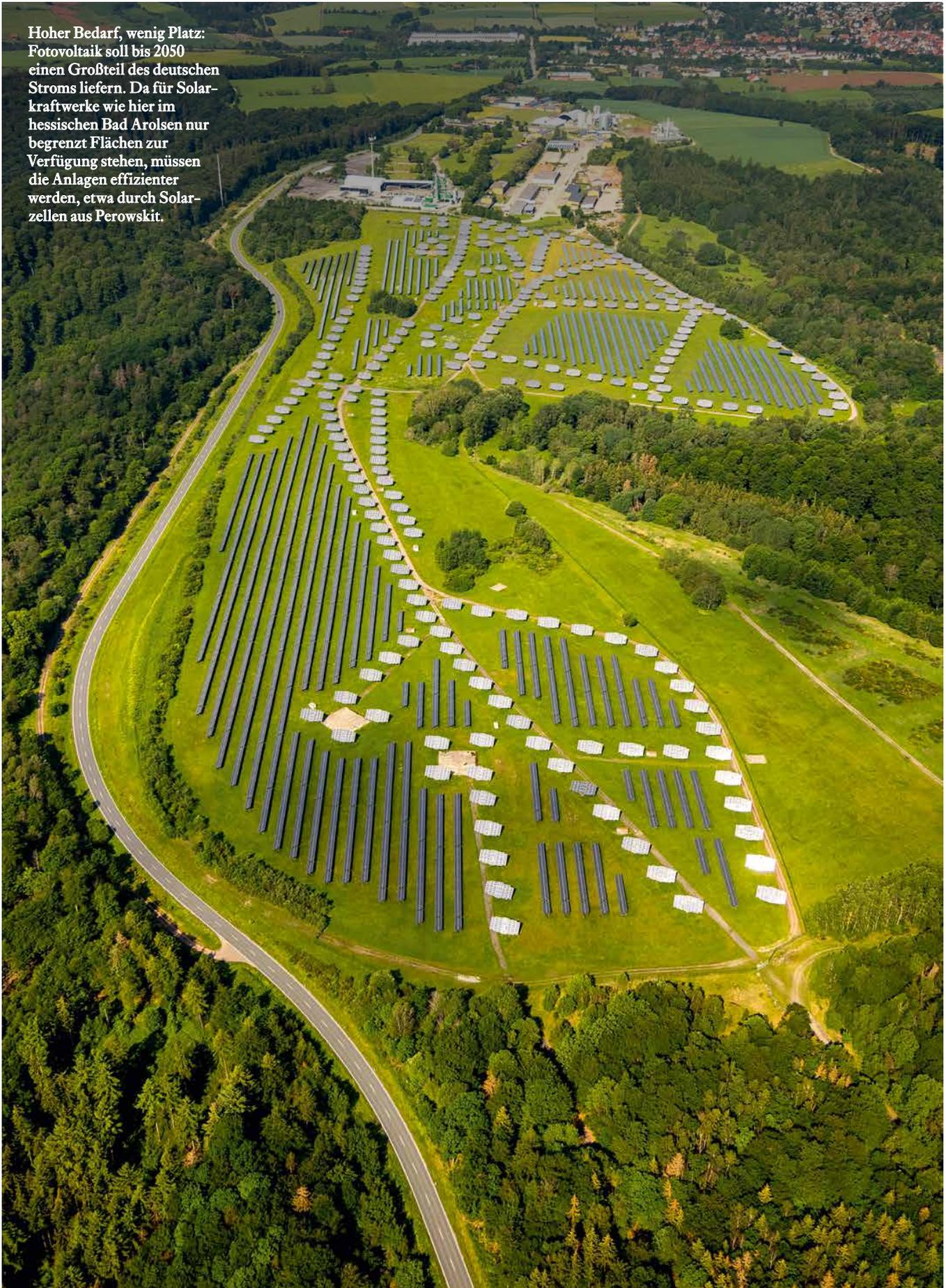
die Kompetenz, die Qualität einer Information beurteilen zu können. Sich vor oder nach der Lektüre durch einen Entscheidungsbaum mit entsprechenden, wiederum äußeren Kriterien zu hangeln, könnte Nutzern einen solchen Schub zur systematischen Qualitätsprüfung geben. „Boosts verlangen zwar ein relativ großes Engagement, dürften aber, anders als das Nudging, auch noch wirken, wenn sie entfernt werden“, sagt Lorenz-Spreen. Allerdings würden alle Vorschläge des Teams tief in das Geschäftsmodell von Youtube, Twitter und Konsorten eingreifen. Denn sie dürften die Informationsverbreitung bremsen und den Plattformen so Aufmerksamkeit nehmen. „Und das bedeutet weniger Profit“, so Lorenz-Spreen. Einen Ausweg sieht er nur, wenn Nutzerinnen und Nutzer selbst mehr Transparenz fordern und etwa zu alternativen Plattformen abwandern, die ähnlich funktionieren könnten wie Wikipedia. „Langfristig kann ich mir sogar vorstellen, dass nach dem Vorbild der öffentlich-rechtlichen Medien öffentliche Institutionen solche Plattformen betreiben“, sagt der Forscher. Erst einmal gehe es aber nicht ohne Regeln.

Die Europäische Kommission zeigt sich mit dem Digital Service Act, der Sicherheits- und Haftungsvorschriften für digitale Dienste festschreiben soll, offen für Regelungen. Auch Deutschland hat mit dem Netzwerkdurchsetzungsgesetz gegen kriminelle digitale Inhalte schon einen Schritt getan. Welche Maßgaben darüber hinaus für soziale Medien gelten sollen, muss die Gesellschaft noch aushandeln. „Digitale Auftritte bis ins Kleinste zu regeln, ist schwierig, aber Designdetails spielen dabei durchaus eine große Rolle“, sagt Philipp Lorenz-Spreen. Welche Maßnahmen zu einem vorsichtigeren Umgang mit Informationen aus sozialen Medien führen können, möchte er künftig auch mit Eckehard Olbrichs Team untersuchen. Denn auch wenn das Odyceus-Projekt jetzt ausläuft: Der Weg zu einem fairen, faktengestützten Meinungs-austausch ist noch weit – nicht nur in der digitalen Welt.

🔗 [www.mpg.de/odyceus-podcast](http://www.mpg.de/odyceus-podcast)



Hoher Bedarf, wenig Platz: Fotovoltaik soll bis 2050 einen Großteil des deutschen Stroms liefern. Da für Solar-kraftwerke wie hier im hessischen Bad Arolsen nur begrenzt Flächen zur Verfügung stehen, müssen die Anlagen effizienter werden, etwa durch Solarzellen aus Perowskit.



# TUNING FÜR DEN SONNENSTROM

TEXT: ANDREAS KNEBL

Bis 2045 soll Deutschland klimaneutral werden. Das kann nur durch massiven Ausbau der Solarenergie und bessere Fotovoltaikmodule gelingen. Neue Materialien wie Perowskite versprechen günstigere und effizientere Anlagen. Stefan Weber und Rüdiger Berger vom Max-Planck-Institut für Polymerforschung in Mainz klären die Vorgänge in Perowskit-Solarzellen auf, um die Entwicklung voranzubringen.

Die Zukunft des Sonnenstroms könnte schwarz aussehen, pechschwarz – das sind gute Aussichten. Derzeit schimmern die meisten Solarzellen in einem Blauton, denn noch werden sie aus Silicium gefertigt, das nur aus einem Teil des Lichts Strom gewinnt. Doch schon bald könnten Perowskit-Solarzellen diese Module verdrängen. Sie sind weniger aufwendig herzustellen, vor allem aber versprechen sie höhere Energieausbeute: Sieben Kilo Perowskit könnten so viel Strom erzeugen wie 35 Tonnen Silicium, nicht zuletzt weil Perowskit es erlaubt, einen größeren Teil des Sonnenspektrums in Strom umzuwandeln. Genau deshalb erscheinen die Module tiefschwarz.

Viele Länder setzen auf den großflächigen Ausbau der Solarenergie, um klimaneutral zu werden. So auch Deutschland, das laut einer Studie der Denkfabrik Agora Energiewende im Jahr 2050 bis zu 40 Prozent seines Strombedarfs durch Fotovoltaik decken soll. Da haben auch schon kleine Verbesserungen der Stromausbeute und Senkungen der Material- und Herstellungskosten einen deutlichen Effekt. Fotovoltaikmodule aus Silicium sind heute zwar deutlich kostengünstiger, leistungsfähiger und weniger energieaufwendig in der Herstellung als noch vor 15 Jahren. Doch ihre Entwicklung ist bereits ziemlich ausgereizt. Deshalb richten Forschende weltweit den Blick auf andere Materialien, etwa auf solche mit Perowskit-Struktur. So erforschen Stefan Weber und Rüdiger Berger, beide Gruppenleiter am Max-Planck-Institut für Polymerforschung, schon seit Jahren, wie Solarzellen aus oder mit Perowskit genau funktionieren und wie sie sich weiter verbessern lassen.

„Perowskit“ bezeichnete ursprünglich ein Mineral aus Calcium, Titan und Sauerstoff. Es wurde zuerst im Ural entdeckt und nach Lew Alexejewitsch Perowski benannt, einem russischen Mineralogen. Später wurde es jedoch namengebend für eine ganze Klasse von Materialien mit einer bestimmten

Kristallstruktur. Dazu gehören zahlreiche Verbindungen aus Metallen und Nichtmetallen mit vielfältigen Eigenschaften und Verwendungsmöglichkeiten. Mit den bleihaltigen Methylammonium-Halogeniden wurde vor etwas mehr als zehn Jahren ein halbleitender Perowskit entdeckt, der sich für photovoltaische Elemente eignet. Damit erzielten Forschende weltweit rasante Fortschritte: Während die erste Solarzelle aus Perowskit mit einer Effizienz von circa vier Prozent arbeitete, kommen die neuesten Module auf mehr als 20 Prozent und nähern sich damit den Solarzellen aus Silicium, die momentan eine maximale Effizienz von 27 Prozent aufweisen. Theoretisch kann eine Perowskitzelle sogar eine Effizienz von über 30 Prozent erreichen.

Für den großflächigen Einsatz von Perowskit-Solarzellen spricht vor allem, dass das Material kostengünstig und mit geringem Energieaufwand produziert werden kann. Denn prinzipiell erzeugt der Halbleiter selbst in dünnen Schichten von 300 bis 400 Nanometern effizient Strom. Da zudem die Zusammensetzung von Perowskiten so gewählt werden kann, dass sie einen bestimmten Anteil des Sonnenlichts in Strom umwandeln, ist auch der energiereiche blaue und grüne Anteil des Sonnenlichts zu-

63



gänglich. Silicium dagegen muss in dicken Schichten von mehreren Hundert Mikrometern verwendet werden und verwertet vor allem die infrarote und rote Sonnenstrahlung, während es die blaue weitgehend ungenutzt lässt. So könnte eine Kombination aus Silicium und Perowskit oder aus unterschiedlichen Perowskiten bald Strom aus dem gesamten Spektrum des Sonnenlichts generieren. Diese Perowskit-Solarzellen wären dann sogar effizienter und günstiger als moderne, rein auf Silicium basierende Module. Nicht von ungefähr betitelte die *Frankfurter Allgemeine Zeitung* Perowskit bereits als „Wundermaterial der Fotovoltaik“. Doch bevor Perowskit-Solarzellen im großen Stil zum Einsatz kommen können, müssen die Materialien noch optimiert werden, unter anderem in puncto Langlebigkeit und Stromausbeute. Eine entscheidende Stellschraube ist dabei ihre chemische Zusammensetzung. „Die Herstellung von Perowskit-Solarzellen war bislang eher Alchemie als Chemie, da man kein gutes wissenschaftliches Verständnis

des Materials hatte. Mit unseren Methoden können wir nun viele grundlegende Vorgänge aufklären. Und durch das gewonnene Verständnis sind dann systematische Verbesserungen möglich“, sagt Rüdiger Berger.

## Blick in die Solarzellen

Eigentlich sind er und Stefan Weber Experten für Rastersondenmikroskopie, mithilfe derer sie Grenzflächen untersuchen. Diese Methode nutzt die Wechselwirkung zwischen einer sehr feinen Spitze, der sogenannten Sonde, und der Oberfläche einer Probe, um diese zu kartieren. Die Methode gibt dabei wahlweise Aufschluss über die Struktur oder über die elektronischen Eigenschaften, und das mit einer Auflösung vom Nano- bis zum Pikometerbereich. Zum Vergleich: Atome haben einen Durchmesser von bis zu 100 Pikometern. Die Mainzer Forscher entwickeln die Rastersondenmikroskopie ständig weiter und un-

tersuchen damit ganz unterschiedliche Materialien. Zu den Solarzellen aus Perowskit kamen sie dabei eher auf Umwegen.

Am Anfang von Stefan Webers Zeit am Max-Planck-Institut für Polymerforschung – er hatte als Doktorand gerade in Rüdiger Bergers Arbeitsgruppe angefangen – stand ein Forschungsaufenthalt an der Seoul National University in Südkorea. Dort blätterte er durch ein Fachjournal und stieß auf einen Artikel über die Messung lichtinduzierten Stroms in organischen Solarzellen. Zellen also, die im Wesentlichen aus einer Kunststoffolie bestehen. Die Autorinnen und Autoren beschrieben darin, wie sie den Strom mithilfe von Rastersondenmikroskopie auf der Nanoebene untersuchten. Stefan Weber war begeistert: „Eine so simple Messung, die unglaublich viele Informationen liefert.“ Ihm war sofort klar: „Das will ich in meiner Doktorarbeit machen.“ Rüdiger Berger war von der Idee auch schnell überzeugt, und zusammen fassten sie den Plan, ähnliche Untersuchungen an organischen Solarzellen zu machen, die als ebenfalls kostengünstige und zudem flexible Alternative zu Siliciumzellen gehandelt werden.

Die beiden Forscher wollten mithilfe der Rastersondenmikroskopie nicht nur die Oberflächen der Solarzellen kartieren, sondern auch in diese hineinschauen. Ihr Plan war es, das Zusammenspiel der verschiedenen Schichten im Querschnitt zu untersuchen. Davon gibt es – unabhängig, ob es sich um Silicium-, Kunststoff- oder Perowskitzellen handelt – mindestens drei: In der Mitte liegt das Halbleitermaterial, das im Fall der organischen Solarzelle aus Kunststoff besteht; unterhalb und oberhalb befinden sich zwei leitende Schichten, die als Elektroden dienen und die elektrischen Pole bilden. Sie sammeln die Ladungsträger ein, die durch das Licht im Halbleiter erzeugt werden – nur deshalb wird eine Solarzelle zur Stromquelle. Damit das Licht den Halbleiter erreicht, muss eine der beiden Leiterschichten durchsichtig sein. In manchen Solarzellen kommen weitere Schichten hinzu, etwa um den



Wundermaterial der Fotovoltaik – so nannte die *Frankfurter Allgemeine Zeitung* Perowskit. Einen einzelnen Kristall hat das Mainzer Max-Planck-Team mit dem Rasterkraftmikroskop gescannt und anhand der Messung ein farbiges 3D-Bild erzeugt.

## AUF DEN PUNKT GEBRACHT

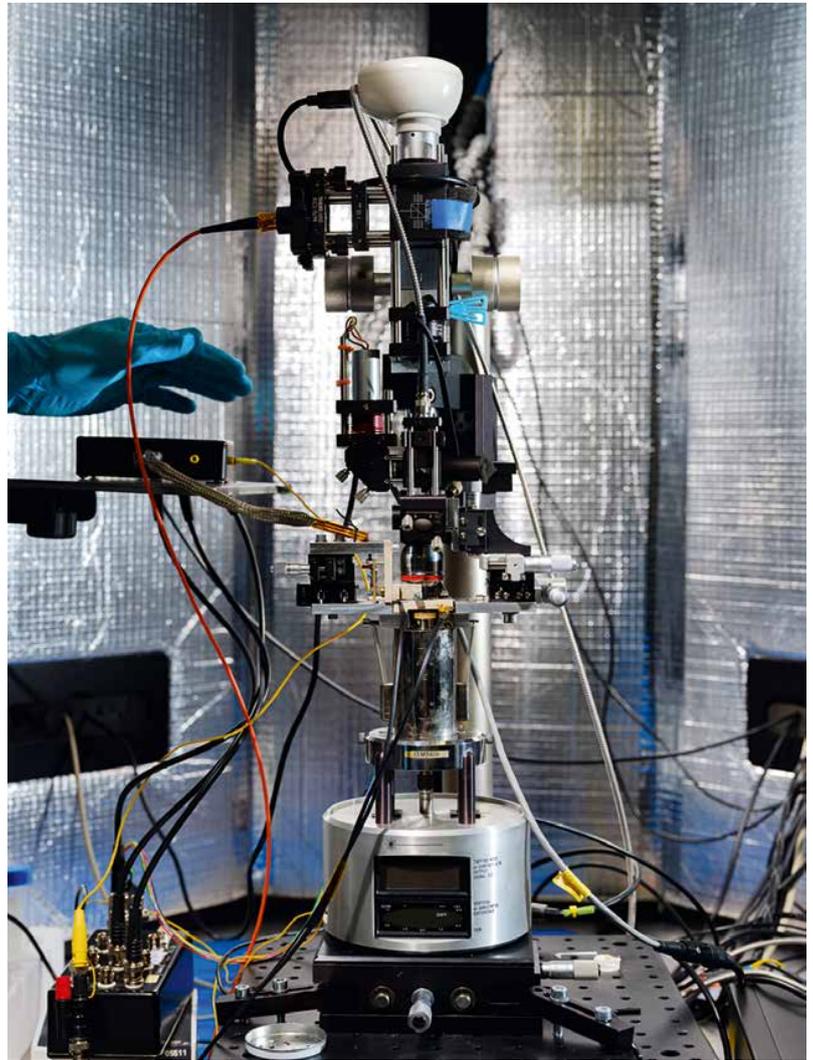
Solarzellen aus oder mit Perowskit könnten leistungsfähiger und preiswerter sein als rein auf Silicium basierende Module.

Forschende des Max-Planck-Instituts für Polymerforschung untersuchen mittels Rastersondenmikroskopie die Vorgänge in Perowskitzellen, um weitere Verbesserungen etwa in deren Effizienz zu ermöglichen.

Mit ihren Untersuchungen haben sie aufgeklärt, dass die Hysterese – die Verzögerung im Stromfluss – in den Perowskitzellen durch Ansammlungen von Ladungsträgern verursacht wird.

Zudem haben die Forschenden in dem Material eine streifenförmige Anordnung unterschiedlicher Kristallorientierungen entdeckt. Da elektrische Ladungen entlang der Streifen bis zu 60 Prozent schneller fließen als senkrecht dazu, könnte ein entsprechendes Design die Solarzellen effizienter machen.

FOTO: KATRIN BINNER FÜR MPG



Vielseitiges Instrument: Ein Rasterkraftmikroskop tastet eine Probe mit einer feinen Spitze ab und liefert dabei wahlweise ein Oberflächenprofil oder Informationen über die elektronischen Eigenschaften des Materials.

Ladungstransport zu dirigieren oder die Halbleiterschicht zu schützen. Stefan Weber und Rüdiger Berger interessierten sich besonders für die Grenzflächen zwischen den verschiedenen Schichten. Denn wenn die Schichten nicht optimal zusammenspielen, kommt es an den Übergängen zum Ladungsträgerstau, und die Effizienz der Zelle nimmt ab.

Um Einblick in die Materialsandwiches zu erhalten, mussten die Mainzer Forscher die organischen Solarzellen sauber schneiden. Doch trotz zahlreicher Versuche lösten sich die einzelnen Schichten dabei stets voneinander und blättern auf. Den Ladungstransport im Inneren der Zellen konnte Rüdiger Bergers Team so

nicht untersuchen. Nun war es wieder ein Zufall, der das Mainzer Team 2012 auf eine frische Spur zu neuartigen Solarzellen brachte. Shahzada Ahmad, ein ehemaliger Kollege von Rüdiger Berger, berichtete ihm von seiner Forschung an neuartigen Perowskit-Solarzellen in Michael Grätzels Arbeitsgruppe an der École Polytechnique Fédérale in Lausanne. Die Zellen erreichten bereits in dem frühen Stadium, in dem sie sich damals befanden, erstaunliche Effizienzen. Die Schweizer Gruppe stellte den Mainzer Forschern für deren Untersuchungen auch eine Perowskit-Solarzelle zur Verfügung, die ein Diplomand eigens mit dem Zug in der Schweiz abholte. Und anders als die organischen Zellen ließ sich die Probe

auch sauber schneiden. Endlich konnten die Forscher mit der Rastersondenmikroskopie elektrische Potentiale entlang des Querschnitts einer Solarzelle messen. Damit war der Grundstein für die weitere Forschung an den Perowskit-Solarzellen gelegt.

Zunächst einmal wollte das Mainzer Team verstehen, was genau in den Perowskitzellen geschieht, wenn sie Strom erzeugen. „Im Gegensatz zu Silicium, das eher einem Stein gleicht und sich bei der Stromerzeugung kaum verändert, ist Perowskit sehr dynamisch“, sagt Stefan Weber. Denn wie eine Batterie bilden der Perowskit und die angrenzenden Schichten eine elektrochemische Zelle, in der Ionen wandern. Doch was sich genau in den

Schichten abspielt, war lange unklar. „Mit den elektrischen Methoden der Rastersondenmikroskopie haben wir die Möglichkeit, auf der Nanoebene Einblicke in das Material zu erhalten.“

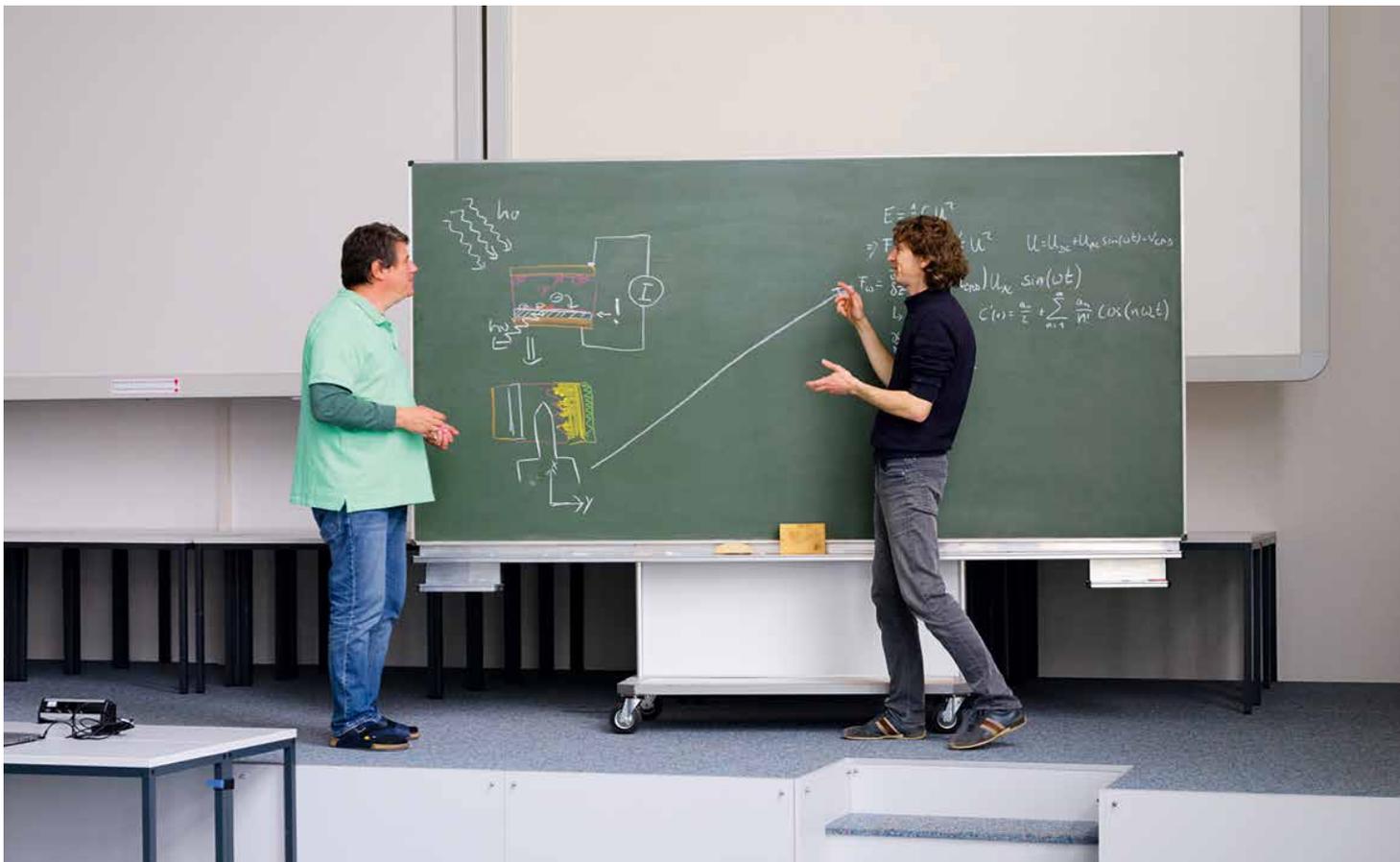
Nicht zuletzt um bei der Effizienz Fortschritte zu machen, versuchten die Mainzer Forscherinnen und Forscher etwa das Rätsel der Hysterese in Perowskit-Solarzellen zu lösen. Lange Zeit war unbekannt, warum es einen Moment dauert, bis die Zelle Strom liefert, sobald sie von Licht beschienen wird. Umgekehrt fließt der Strom noch für einen kurzen Moment weiter, wenn kein Licht mehr leuchtet. Diese Verzögerung, Hysterese genannt, tritt bei Silicium-Solarzellen nicht auf, muss aber in der Praxis berücksichtigt werden. Denn sie ist der Grund, warum die gemessene Effizienz von Perowskitzellen davon abhängt, wie die Messung genau durchgeführt wird. „Diese Ungenauigkeit ist unerwünscht“, erklärt Stefan Weber „Denn die Effizienz ist die wichtigste

Kennzahl, um verschiedene Zellen zu vergleichen. Außerdem verkürzen die Prozesse hinter der Hysterese die Lebensdauer der Zellen.“

Erst dem Team um Stefan Weber und Rüdiger Berger gelang es zu entschlüsseln, wie es zu der Verzögerung in der Stromproduktion kommt – mithilfe eines Rastersondenmikroskops. Einen ganzen Tag lang tastete die Nanospitze des Geräts den wenige Mikrometer großen Querschnitt einer Perowskit-Solarzelle ab. Punkt für Punkt schaltete das Mainzer Team eine künstliche Lichtquelle an und aus und zeichnete den zeitlichen Verlauf des elektrischen Potenzials auf. Dabei nahmen die Forschenden gewissermaßen einen Film auf, der zeigt, wie sich die Ladungsverteilung entlang der verschiedenen Schichten der Solarzelle ändert. So machte das Mainzer Team eine Beobachtung, die schließlich die Hysterese erklärte: Gleich nachdem das Licht eingeschaltet wird, sammeln sich positive La-

dungsträger am Rande der Perowskit-schicht. Sie schirmen den dahinter liegenden Minuspol ab und stören somit den Stromfluss. „Da diese Ladungen an den Grenzflächen des Perowskits auch nach dem Ausschalten des Lichts für etwa eine halbe Sekunde stabil bleiben und ein elektrisches Feld in der Zelle aufrechterhalten, spielen sie die Hauptrolle für die Hysterese“, sagt Stefan Weber. „Umgekehrt bedeutet das, dass Hysterese durch gezielte Modifikationen an diesen Grenzflächen beeinflusst oder ganz unterdrückt werden kann.“

Doch nicht nur die Vorgänge an den Grenzflächen zwischen den verschiedenen Schichten bestimmen über den Abtransport der Ladungsträger, sondern auch die elektrischen Eigenschaften der Perowskit-schicht selbst. Je schneller die vom Licht erzeugten Ladungsträger zu den Polen gelangen, desto höher ist die Stromausbeute. Daher untersuchte das Forschungsteam die elektrischen Eigenschaften



des Perowskitmaterials im Detail. Dieses ist nämlich nicht nur ein Halbleiter, sondern bringt auch weitere, bisher nur wenig verstandene Eigenschaften wie die Piezoelektrizität mit. Piezoelektrische Materialien verformen sich, wenn sie einer elektrischen Spannung ausgesetzt sind. Um diese Eigenschaft zu untersuchen, tastete Ilka Hermes aus Stefan Webers Gruppe eine Probe mit einer Mikroskopspitze ab, an der eine Wechselspannung anlag. Als Reaktion auf die Wechselspannung verformte sich der Perowskit periodisch und bewegte dabei die Spitze des Kraftmikroskops. Diese Auslenkung zeichneten die Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler genau auf und erhielten so ein hochaufgelöstes Bild der piezoelektrischen Eigenschaft des Perowskites. Nach den ersten Messungen berichtete Ilka Hermes Stefan Weber überrascht, dass sie nur Streifen sehe. Aber was zunächst als unbrauchbare Messung erschien, entpuppte sich schließlich als neue Eigenschaft des

Perowskites: Entlang der Streifen änderte sich die piezoelektrische Eigenschaft des Materials kaum, zwischen hellen und dunklen Streifen dagegen sehr. Der Unterschied erklärt sich durch zwei verschiedene Orientierungen des Perowskitkristalls in benachbarten Streifen. „Danach stellen wir uns die Frage, ob die Streifen auch Einfluss auf die Funktion einer Perowskit-Solarzelle haben“, sagt Stefan Weber.

## Autobahnen für Elektronen

2020 wiesen Ilka Hermes und Stefan Weber dann tatsächlich nach, dass diese mikroskopischen Strukturunterschiede eine Rolle für den Ladungstransport spielen. Dazu kombinierten sie die Bilder eines Piezokraftmikroskops mit Daten eines Photolumineszenzmikroskops. „Unser Photolumineszenz-Detektor funktioniert ähnlich wie eine Radarfalle“, erklärt Ilka Hermes. „Wir messen damit auf mikroskopischer Ebene die Geschwindigkeiten der Elektronen in verschiedenen Richtungen.“ So stellten die Forschenden fest, dass sich die Elektronen entlang der Streifen rund 50 bis 60 Prozent schneller bewegten als senkrecht dazu. „Die Streifen sind wie winzige Autobahnen für die Elektronen“, sagt Stefan Weber. Entsprechend könnten Perowskit-Solarzellen, bei denen man darauf achtet, dass die Streifen zu den Elektroden führen, deutlich effizienter sein. Dies könnte man beispielsweise durch gezielte mechanische Bearbeitung oder eine geeignete Temperaturbehandlung des Materials erreichen.

Ob sich Perowskit als Material für Solarzellen letztlich durchsetzen wird, hängt von weiteren Fortschritten ab. Ein großes Problem ist aktuell die Kurzlebigkeit des Materials. Denn Feuchtigkeit und Sonnenlicht setzen Perowskit zu, sodass die Leistung eines Solarmoduls nach und nach sinkt. Und obwohl die Zellen stetig langlebiger werden, hat man die gewünschten 20 bis 25 Jahre noch nicht erreicht. Diesem Ziel widmet Rüdiger Berger ein neues Forschungsprojekt, das er

## GLOSSAR

### PEROWSKITE

sind Materialien mit einer kubischen Kristallstruktur. Dazu zählen bleihaltige Ammonium-Halogenide, die als Halbleiter in Solarzellen Verwendung finden können.

### PIEZOELEKTRISCHE MATERIALIEN

verformen sich, wenn eine Spannung an sie angelegt wird, weil sich dadurch ihre Kristallstruktur ändert.

### RASTERSONDENMIKROSKOPIE

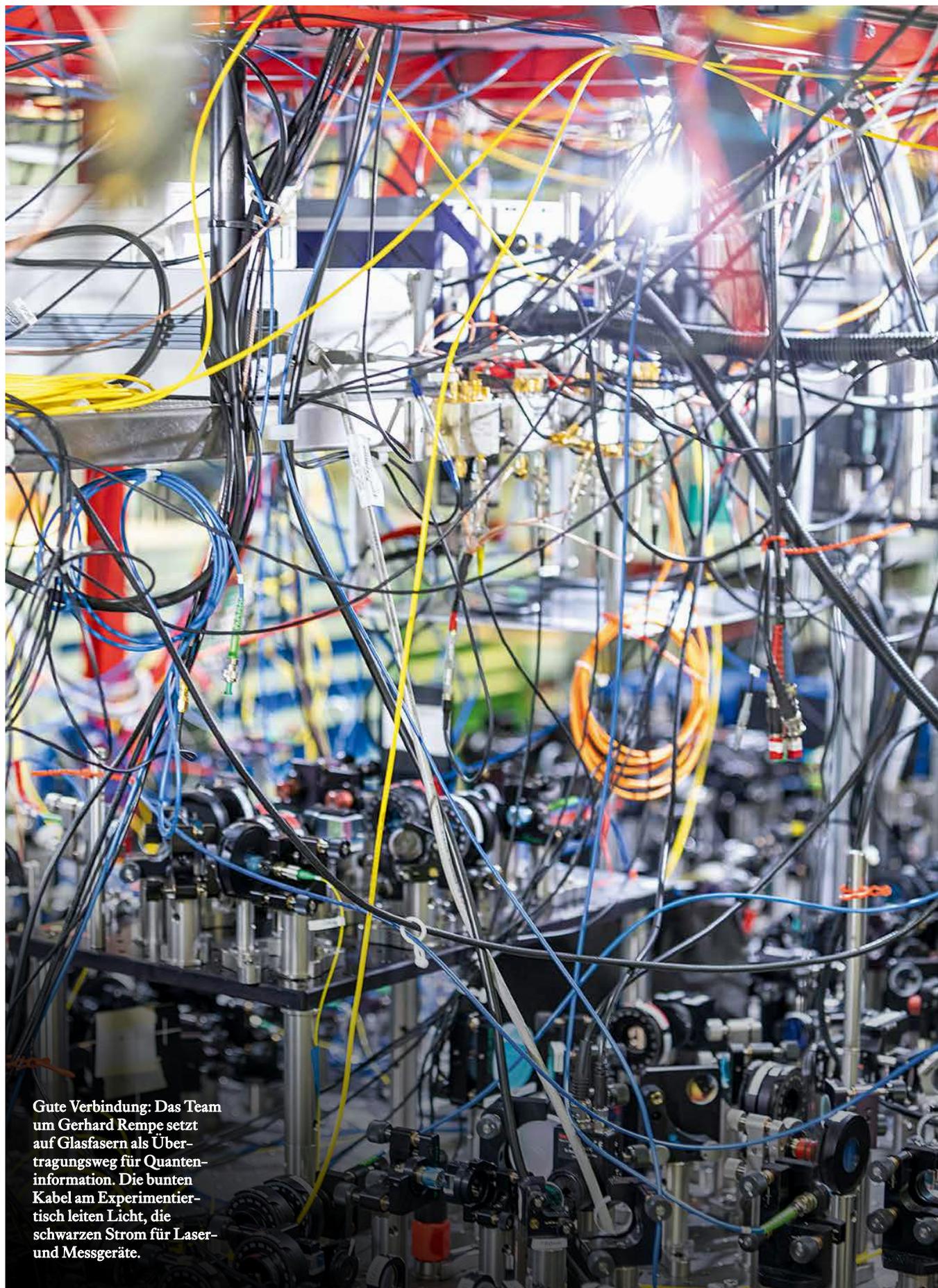
Diese Methode, bei der eine Probe mit einer feinen Spitze abgetastet wird, gibt je nach Betriebsmodus Aufschluss über die Oberflächenstruktur oder die elektrischen Eigenschaften einer Probe.

zusammen mit Shahzada Ahmad startet. Ahmad hatte die Mainzer Forschung an den neuartigen Solarzellen 2012 angestoßen und leitet mittlerweile eine Arbeitsgruppe am Basque Center for Materials, Applications & Nanostructures nahe Bilbao. „Wir werden eine Schutzschicht einbauen, um die Diffusion von Wasser zu verhindern und die Zellen langlebiger zu machen“, erläutert Rüdiger Berger.

Ein weiteres Problem ist, dass die vielversprechendsten Perowskit-Solarzellen Blei enthalten, das zumindest in der EU als giftiger Inhaltsstoff geächtet ist. Viele Forschungsanstrengungen suchen deshalb nach einem guten Ersatz für das Blei oder aber Mittel und Wege, das Blei in den Solarzellen unschädlich zu machen. Oxford PV, der Marktführer auf dem Gebiet der Perowskit-Solarzellen, lässt sich von diesen Problemen allerdings nicht beirren. Spätestens für 2022 hat das Unternehmen den Start der Produktion einer Tandemzelle aus Silicium und Perowskit in Brandenburg angekündigt. Bald dürften die ersten Solarzellen also schwarz von den Dächern grüßen.

Ein Plan für neue Experimente: Rüdiger Berger (links) und Stefan Weber besprechen, welche Erkenntnisse über Perowskit-Solarzellen ihre Versuche liefern können.





68

**Gute Verbindung:** Das Team um Gerhard Rempe setzt auf Glasfasern als Übertragungsweg für Quanteninformation. Die bunten Kabel am Experimentiertisch leiten Licht, die schwarzen Strom für Laser- und Messgeräte.

FOTO: AXEL GRIESCH

# DIE ARCHITEKTUR DES QUANTENINTERNETS

TEXT: ROLAND WENGENMAYR

Die Attacken von Hackern dürften durch neue Techniken immer grössere Schäden anrichten. Doch zumindest die Übertragung von Daten könnte sicherer werden – durch Quantenkommunikation. Daher arbeiten Forschende weltweit an den physikalischen Grundlagen und technischen Modulen. Das Team von Gerhard Rempe am Max-Planck-Institut für Quantenoptik in Garching will noch mehr: Quantencomputer vernetzen.

Die zwei hellen Flecke auf dem Bild könnten die Zukunft des Quanteninternets symbolisieren. „Das sind zwei leuchtende Rubidiumatome, aufgenommen von einer hochauflösenden Spezialekamera“, erklärt Stephan Welte, Postdoktorand in Gerhard Rempes Abteilung am Max-Planck-Institut für Quantenoptik in Garching. Die Atome, wenige zehntel Nanometer (milliardstel Meter) winzig, schwebten während der Aufnahme im Vakuum, in einem etwa einen halben Millimeter breiten Hohlraum. Das ist ein optischer Resonanzkörper, gebildet aus zwei nahezu perfekten Spiegeln, die einander gegenüberste-

hen. Wozu das gut ist, erklärt Weltes Kollege Emanuele Distante: „Wenn man ein Photon, also ein Lichtquant, auf ein winziges Atom schickt, ist es sehr unwahrscheinlich, dass beide miteinander ‚reden!‘“ Genau dies aber müssen sie für eine funktionierende Quantenkommunikation tun. Rempes Gruppe will nämlich Quanteninformation per Photonenpost zwischen Sendern und Empfängern verschicken, die aus Atomen oder anderen Teilchen bestehen und diese Information speichern können. Bei Rempes Ansatz sollen solche Spiegelkabinette das Kommunikationshindernis beseitigen. Dazu reflektieren die zwei Spiegel ein abzuschickendes oder zu empfangendes Photon in dem Resonator vielfach hin und her, wie einen Pingpongball – „in unserem Fall ungefähr zwanzigtausendmal“, erläutert Welte: „Das ergibt eine sehr hohe Chance, dass das Photon mit dem Atom wechselwirkt.“

Diesen Spiegeltrick hat Gerhard Rempe mit seinen Forschungsteams im Lauf von zwei Jahrzehnten so perfektioniert, dass die Garchinger aus den Resonatoren nun Bausteine für zu-

künftige Quantennetzwerke entwickeln. Das Forschungsgebiet verspricht zweierlei: enorm leistungsfähige Quantencomputer und garantiert abhörsichere Kommunikation. Letzteres wäre im Alltag sofort willkommen, zum Beispiel beim Onlinebanking. Mit Quantencomputern hingegen würden wir im Alltag kaum direkt zu tun haben, indirekt jedoch könnten sie unsere Lebenswelt stark verändern. Sie könnten zum Beispiel das „Problem des Handlungsreisenden“ lösen, der zu vielen verschiedenen Zielen reisen soll und den kürzesten Weg sucht. Es gibt eine Menge derartiger Optimierungsprobleme in Wissenschaft, Technik, Wirtschaft oder Finanzwelt, an denen herkömmliche Computer scheitern.

Da Quantencomputer aufwendig zu bauen sind, wird man sie wohl weniger wie Rechenzentren konzipieren, sondern zukünftig eher als weltweite Quantencloud. Dies zumindest ist Gerhard Rempes Zukunftsvision, und diese benötigt ein Quanteninternet. Allerdings könnten Quantencomputer auch schnell Verschlüsselungen knacken, die für die Datenübertragung

69



verwendet werden und heute als sicher gelten. Hier liefert die Quantenphysik jedoch das Gegenmittel in Form der Quantenkryptografie: Im Quantenkanal, mit dem der geheime Schlüssel zwischen Sender und Empfänger verteilt wird, würde sich ein Lauscher unweigerlich verraten.

Entsprechend hoch ist das Interesse von Unternehmen wie Google oder IBM an Quanteninformationstechniken; bei der Entwicklung des Quantencomputers liegen sie ziemlich weit vorn. Überdies gibt es auf staatlicher Ebene vor allem zwischen China, den USA und Europa ein Wettrennen. Der US-Kongress hat 2018 den National Quantum Initiative Act gebilligt, der die vielfältigen Forschungs- und Entwicklungsaktivitäten in den USA mit einem jährlich wachsenden Budget unterstützen und bündeln soll. Für 2021 sind knapp 800 Millionen US-Dollar eingeplant. Die Bundesregierung will Quantentechnologien in den kommenden Jahren mit zwei Milliarden Euro fördern und der bayerische Staat den Münchner Raum mit 300 Millionen Euro zum Munich Quantum Valley ertüchtigen. Es sollen neue Forschungsmöglichkeiten und Studiengänge sowie Start-ups in der Münchner Region entstehen.

70

## Große internationale Konkurrenz

Wenn es um starke mediale Botschaften geht, ist China derzeit vorne. Chinesische Physiker haben 2017 den ersten Satelliten für Experimente zur abhörsicheren Quantenkommunikation ins All gebracht. Und auf der Erde haben sie mit 4600 Kilometern Gesamtlänge das bislang größte Glasfasernetzwerk für dieses Ziel aufgebaut. Auf die Frage, wie er die internationale Konkurrenzsituation in der Physik derzeit einschätzt, bringt Gerhard Rempe den kulturellen Hintergrund ins Spiel. „Die physikalischen Gesetze sind überall gleich, aber in den USA zum Beispiel ist man sehr pragmatisch und kreativ“, sagt er. Auch

die Grundlagenforschung in Europa sieht er konkurrenzfähig aufgestellt, mit unterschiedlichen Stärken in verschiedenen Ländern. In Deutschland gibt es sehr gute Forschungsteams, insbesondere zu Quantennetzwerken und Quantensimulatoren. Lediglich beim Bau eines frei programmierbaren, universellen Quantencomputers hinkt Deutschland hinterher – auch mangels ausreichender Förderung in der Vergangenheit. Den chinesischen Erfolg würdigt Rempe als beeindruckende Leistung in puncto Management und technischer Umsetzung. „Konzeptionell finde ich diese Arbeiten jedoch weniger spannend“, sagt er. Seiner Einschätzung nach befindet sich die chinesische Forschung manchmal noch im Kopiermodus. Zum chinesischen Glasfasernetzwerk meint er: „In den Teilabschnitten ist das etablierte Technik, die man kommerziell kaufen kann – aber das Gesamtsystem spielt schon in der Oberliga.“

Vor allem versteht Rempe unter dem Begriff Quanteninternet etwas wesentlich Radikaleres als einfache Punkt-zu-Punkt-Verbindungen, wie sie heute realisiert sind. In so einem Netzwerk sollen nicht mehr menschliche Akteure über mehr oder weniger lange Quantenkanäle kommunizieren. Menschen gehören zur Welt des Großen, in der die klassische Physik regiert und in der keine empfindliche Quanteninformation überlebt. Rempe will echte Quantensysteme miteinander über größere Distanzen kommunizieren lassen, eines Tages sogar Quantencomputer – in einer Quantencloud. „Das ist die Champions League“, sagt er. Erste Ansätze funktionieren schon in seinen Garching Labors, und alle diese Module basieren auf den Spiegelkabinetten.

Um als Laie erahnen zu können, worum es geht, muss man allerdings kurz in die Welt der Quantenphysik eintauchen. Und die ist höchst merkwürdig. Quanteninformation ist immer an ihren physikalischen Träger gebunden, zum Beispiel ein Lichtquant. Solche Photonen transportieren Quantenbits,

Sendungsverfolgung für Quantenpost: In zwei gekreuzten Resonatoren, die jeweils von zwei Glasfasern gebildet werden, fangen Max-Planck-Physiker ein Atom. Damit können sie ein photonisches Qubit nachweisen, ohne die Quanteninformation zu zerstören.



kurz Qubits, als Quantenfernpost – sei es durch die Atmosphäre ins All zu einem Satelliten oder durch eine Glasfaser zu einem Empfänger. Dabei kann man sich die im Photon codierte Information als kleinen Zeiger vorstellen, der von einem Kugelmittelpunkt auf die Kugeloberfläche weist. Nord- und Südpol dieser Kugel entsprechen 0 und 1 bei einem klassischen Bit der heutigen Computertechnik. Alle anderen Punkte entsprechen einer Überlagerung dieser beiden Zustände. Dieses Mehr an Möglichkeiten begründet die Rechen- und Speichermacht der Quanteninformation. Wichtig ist zudem, dass jegliche Messung am Photon die ursprüngliche Überlagerung aller erlaubten Zustände in einen der beiden

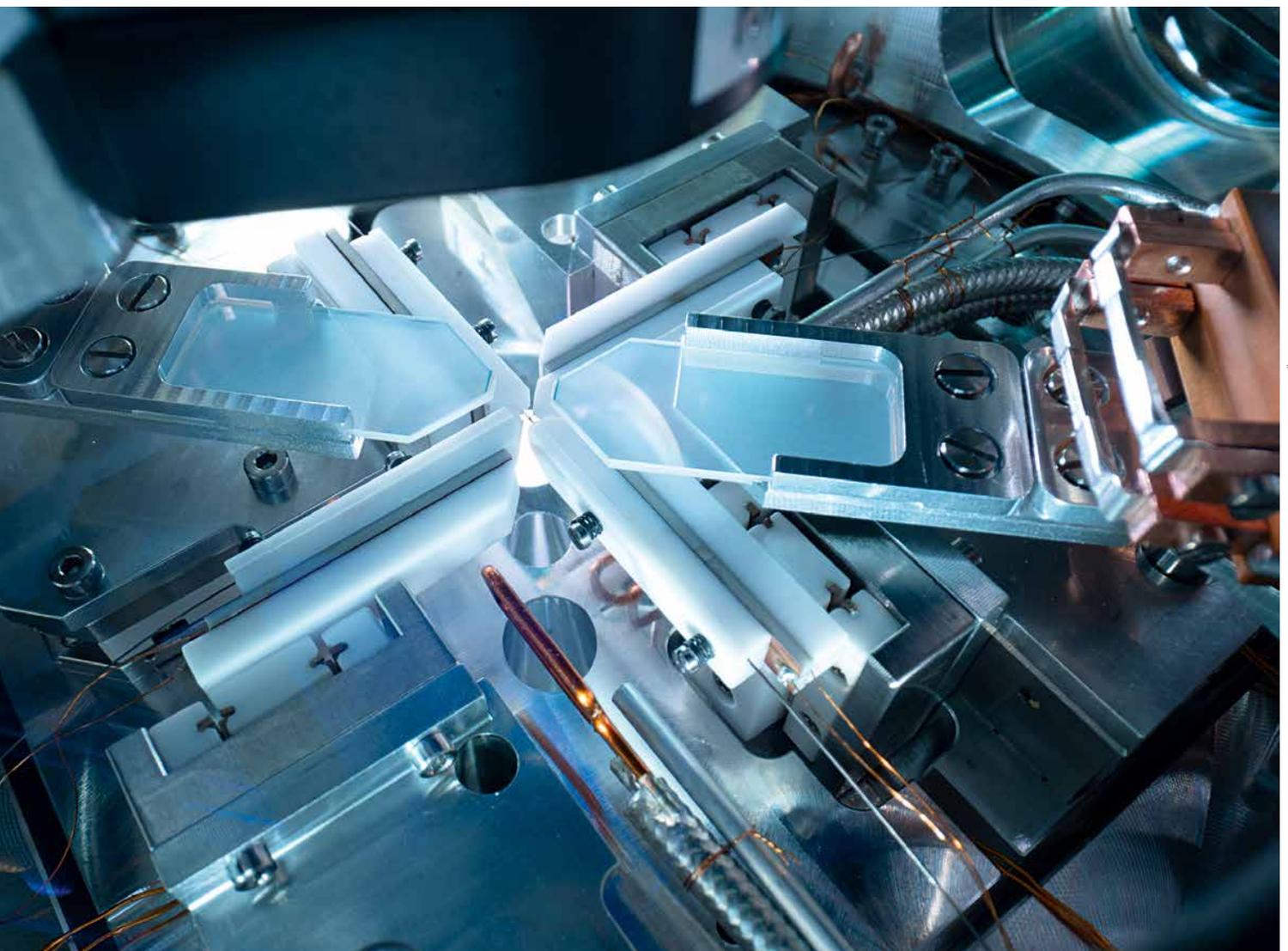


FOTO: CHRISTOPH HOHMANN (MCQST / LMU MÜNCHEN)

Zustände 0 oder 1 abbildet. Dies geschieht nach den Wahrscheinlichkeitsregeln der Quantenmechanik. Darauf ist zurückzuführen, dass jeder Versuch eines Lauschers, heimlich die Quanteninformation in einem vorbeifliegenden Photon zu lesen, unweigerlich auffliegt. Denn der Leseversuch stellt eine Messung dar, die die eingespeicherte Überlagerung als eigentliche Post zerstört. Der Lauscher kann die Quanteninformation auch nicht einfach auf ein zweites Photon kopieren, um sie dort unbemerkt zu lesen. Denn Quanteninformation ist grundsätzlich nicht kopierbar – das nennt sich No-Cloning-Theorem. Die Information ist nur übertragbar, zum Beispiel vom Photon auf ein Atom als Speichermedium. Auf dem

fundamentalen No-Cloning-Theorem beruht die Quantenkryptografie, wie sie auch in den einzelnen Streckenabschnitten des chinesischen Netzwerks eingesetzt wird. Das Problem ist der wachsende Verlust von Photonen mit zunehmender Glasfaserlänge. Aus diesem Grund müssen vertrauenswürdige Knoten zwischengeschaltet werden – im chinesischen Netz gibt es davon derzeit 32. In diesen Knoten sitzen – noch – der klassischen Physik unterworfenen Systeme, mit denen die einzelnen Quantenteilstrecken verknüpft werden. „Abhörer im Sinne der Quantenphysik ist das nicht“, erläutert Gerhard Rempe, „denn ein Lauscher könnte ja herausfinden, was an den Knotenstellen passiert.“

Mit einer anderen Eigenschaft von Quantensystemen wollen die Physiker in dieser Hinsicht weiterkommen. Es geht um die Verschränkung, die es erlaubt, weit voneinander entfernte Quantensysteme zu einem Quantenobjekt zu fusionieren. Um dafür ein Gefühl zu bekommen, stellen wir uns vor, dass eine Alice in München und ein Bob in Toronto zwei Quantenwürfel besitzen. Beide bekommen die Fleißaufgabe, tausendmal zu würfeln und die gewürfelte Zahlenfolge zu notieren. Diese Zahlenfolge wird bei beiden, für sich genommen, völlig zufällig aussehen. Doch sobald sie ihre Listen etwa per Videochat vergleichen, werden sie etwas Merkwürdiges feststellen: Immer wenn Alice eine Sechs gewürfelt hat, erzielte Bob



eine Eins – und umgekehrt. Und wenn es nicht Eins-Sechs war, dann war es Zwei-Fünf oder Drei-Vier. Der Grund: Beide Würfel waren über Tausende Kilometer hinweg miteinander verschränkt.

Albert Einstein sah diese „spukhafte Fernwirkung“, wie er es nannte, als Beweis für die Unvollständigkeit der Quantenmechanik. Doch er irrte, denn die Natur erlaubt genau das, und inzwischen sind tatsächlich Verschränkungsexperimente über viele Kilometer hinweg gelungen. Diese Verschränkung machen sich die derzeit entstehenden Quanteninformationstechniken als zentrale Ressource zunutze. Die Übertragung von Quantenschlüsseln, die Quantenkryptografie, setzt in ihrer fortgeschrittenen Form dabei wiederum auf die extreme Empfindlichkeit der Verschränkung gegen jeden äußeren Einfluss. Sobald ein Lauscher sich in den Quantenkanal einschalten will, verrät er sich über den unmittelbaren Kollaps der Verschränkung. In einem zukünftigen Quanteninternet, wie Gerhard Rempe es sich vorstellt, sollen Quantenmodule miteinander über Photonen als fliegende Qubits verschränkbar sein. Die Module übernehmen das Zwischenspeichern der Quanteninformation – in Zukunft könnten dies sogar komplette Quantencomputer sein. Bei Rempes Team bestehen diese Speichermodule aus den Atomen in den Spiegelkabinetten.

72

## Quantenrepeater für weite Strecken

Für den Max-Planck-Direktor ist klar, dass ein zukünftiges Quanteninternet auf einem Glasfasernetz basieren wird. Die Satellitenübertragung wird schwierig, sobald es um größere Datenmengen geht, denn auch in der Atmosphäre verschwindet ein kostbares Photon gerne mal, oder der Satellit befindet sich hinterm Horizont. Um die Verluste in den Glasfasern zu kompensieren, braucht ein größeres Quantennetzwerk eine Art Zwischen-

verstärker, analog zu den Repeatern in konventionellen Glasfasernetzen. Doch diese Quantenrepeater fehlen noch, obwohl einige Gruppen weltweit seit 20 Jahren daran forschen.

---

### AUF DEN PUNKT GEBRACHT

Das Quanteninternet könnte die Datenübertragung abhörsicher machen, selbst wenn der Quantencomputer künftig die heute gebräuchlichen Verschlüsselungen knackt. Zudem könnte es voneinander entfernte Quantencomputer zu leistungsfähigeren Einheiten zusammenschalten.

Die USA, China, aber auch Deutschland und die EU liefern sich einen Wettlauf bei der Entwicklung der Quantenkommunikation. In China wurde dafür etwa ein Glasfasernetz von 4600 Kilometern Länge aufgebaut. Dieses arbeitet aber auch noch mit klassischen und daher angreifbaren Knoten.

Gerhard Rempes Team möchte Information auch über lange Strecken rein quantenmechanisch übertragen. Die Forschenden setzen dabei auf Photonen als mobile Träger der Quanteninformation und einzelne Atome in Resonatoren als stationäre Elemente etwa als Sender oder Empfänger. Sie entwickeln unter anderem einen Quantenrepeater.

Die Schwierigkeit besteht darin, dass ein Quantenrepeater eben kein Verstärker sein darf. Ein herkömmlicher Repeater empfängt im Prinzip das abgeschwächte Laserlicht und prägt das transportierte Signal auf stärkeres Laserlicht zum Weiterschicken auf. Das wäre ein in der Quantenphysik verbotener Kopiervorgang: Die Quantenpost würde vorzeitig geöffnet und wertlos. Folglich muss der Quantenrepeater in der Lage sein,

den hochempfindlichen verschränkten Zustand von Alice bis zum weit entfernten Bob durchzuschalten, ohne ihn zu lesen. Präziser gesagt, wird ein Quantenzustand über eine von Alice zu Bob durchgeschaltete Verschränkung gesendet. Quantenteleportation heißt dieser Prozess, wobei dieser von *Star Trek* inspirierte Name häufig zu Missverständnissen führt: Anders als in der Science-Fiction-Serie lässt sich so keine Materie, also auch kein Mr. Spock in voller Lebensgröße, durch die Welt beamen. Das funktioniert nur mit nichtmateriellen Quantenzuständen, also Quanteninformation.

Tatsächlich ist Gerhard Rempes Team im Labor jüngst das bisher erfolgreichste Quantenrepeater-Experiment weltweit gelungen. Als Repeater wirkt ein Spiegelmodul, in dem sich zwei Atome befinden. Dieses Ensemble sitzt in der Glasfaserstrecke zwischen Alice als Sender und Bob als Empfänger. Dazu schickt eines der beiden Atome im Spiegelmodul wiederholt ein mit dem Atom verschränktes Photon an Alice, und zwar so lange, bis eins ankommt. Parallel dazu und unabhängig davon baut das andere Atom eine Verbindung mit Bob auf. Sobald auch diese steht, werden beide Atome im Spiegelmodul einer „magischen Messung“, so Rempe, unterworfen. Diese überträgt die Verschränkung auf den beiden Teilstrecken auf eine zwischen Alice und Bob durchgeschaltete Verschränkung.

Da an den beiden Teilstrecken vor diesem letzten Schritt parallel gearbeitet wird, erhöht sich von einer gewissen Streckenlänge an die Übertragungsraten im Vergleich zur einfachen Verbindung ohne Repeater. Diese Streckenlänge hat das Experiment bislang noch nicht erreicht. Derzeit entspricht die Fernverbindung im Labor zwei Kilometern Glasfaserstrecke. Die Messergebnisse zeigen bereits, dass der Garching-Quantenrepeater ab sieben Kilometern der Übertragung von Photonen ohne Repeater überlegen wäre. Allerdings ist der Weg bis zu diesem Durchbruch noch

steinig. Einfaches Verlängern reiche nicht, erklärt Gerhard Rempe, dazu müssten die Garchingler vorab noch einige Probleme lösen, insbesondere müssten sie Verluste bei der magischen Messung verringern. In einem Quantenglasfasernetz müsste dann alle paar Kilometer ein Quantenrepeater sitzen.

Ein anderes wichtiges Werkzeug, das die Garchingler entwickelt haben, übernimmt die Aufgabe eines Herolds. Dieser Herold gibt ein Erfolgssignal, wenn in einem Netzwerk mit Quantenrepeatern auf den einzelnen Streckenabschnitten die Verschränkung steht, bevor sie mit der letzten magischen Messung durchgeschaltet wird. Die Herausforderung: Der Herold darf dabei selbst keine echte Messung durchführen. Bildlich gesprochen, muss er nur durch Lauschen, ohne die Tür zu öffnen, herausfinden, ob jemand in einem Zimmer ist. Zur Realisierung eines Herolds hat sich das

Garchingler Team ein pfiffiges Arrangement aus zwei gekreuzten Resonatoren ausgedacht. Der Hauptresonator in Richtung der eigentlichen Nachrichtenleitung dient als Netzwerknoten mit Speicherfunktion. Der dazu senkrechte Nebenresonator checkt als Herold vorsichtig, ob das Atom in dem Resonator das ankommende Qubit gespeichert hat.

## Netz aus Quantenprozessoren

Die Garchingler können mit ihrer Herold-Technik zudem prüfen, ob ein Photon bis zur Position der gekreuzten Resonatoren in einer Glasfaser durchgekommen ist. Das ist wichtig, um so früh wie möglich herauszufinden, ob die Quantenpost unterwegs verloren gegangen ist. Auch hier besteht die Kunst darin, das Photon gewissermaßen zu erspüren, ohne

es direkt zu messen. Denn das würde die im Photon abgespeicherte Information zerstören. Solche Herolde gehören zum Werkzeugkasten, mit dessen Hilfe dann auch mehrere Quantencomputer über ein Quantennetzwerk zusammenschaltbar wären. Denn mit über das Quantennetzwerk verteilten Herolden lässt sich sehr schnell erkennen, ob ein Photon noch vorhanden oder bereits verloren gegangen ist, sodass gegebenenfalls ein neuer Übertragungsversuch gestartet werden kann.

Ein wichtiger Schritt auf dem Weg zu einem Quantennetzwerk gelang Gerhard Rempes Team kürzlich mit einem Experiment, bei dem Alice und Bob bereits zwei Quantenprozessoren waren. Bei diesem Experiment waren zwei 60 Meter voneinander entfernte Module, die aus Atomen in Spiegelresonatoren bestanden, über eine Glasfaser miteinander verbunden. Über ein einzelnes durch diese Faser

→

73

Philip Thomas, Olivier Morin, Gerhard Rempe und Leonardo Ruscio (von links) haben sich um den Tisch versammelt, der die Vakuumkammer für Experimente mit einzelnen Atomen trägt. Auf dem Tisch links sind die dafür nötigen Laser aufgebaut.

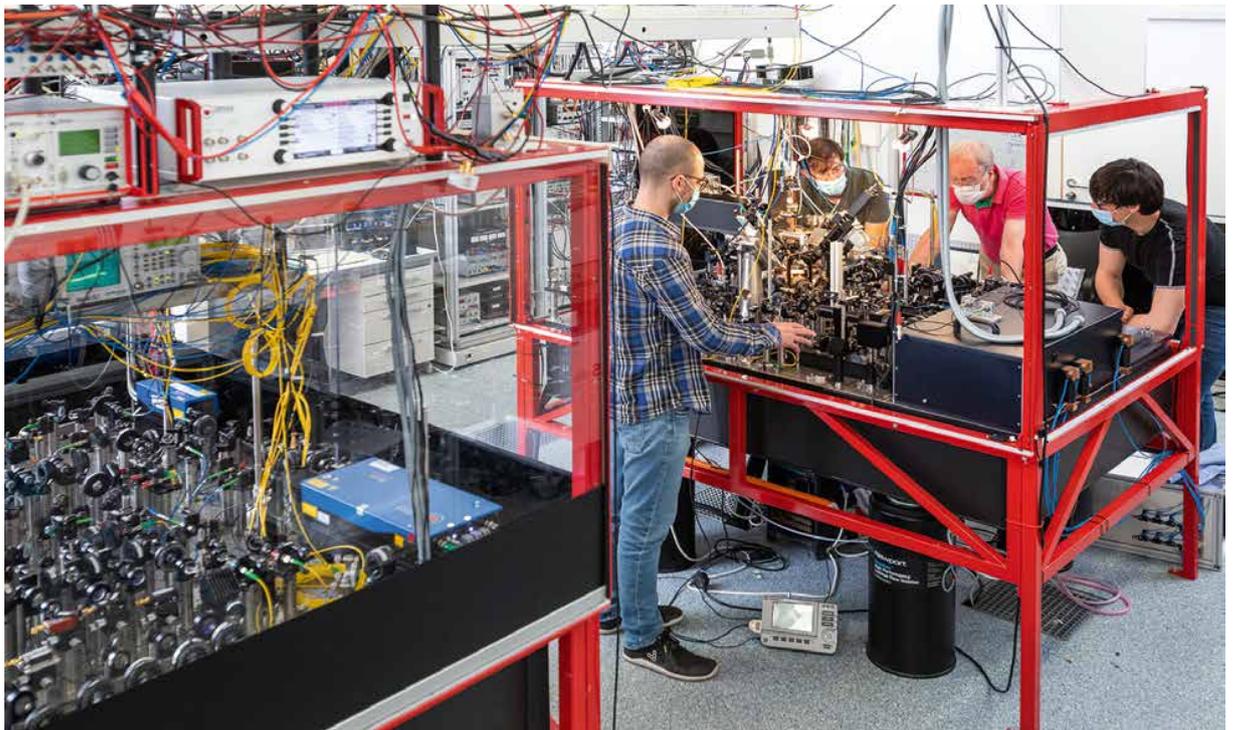
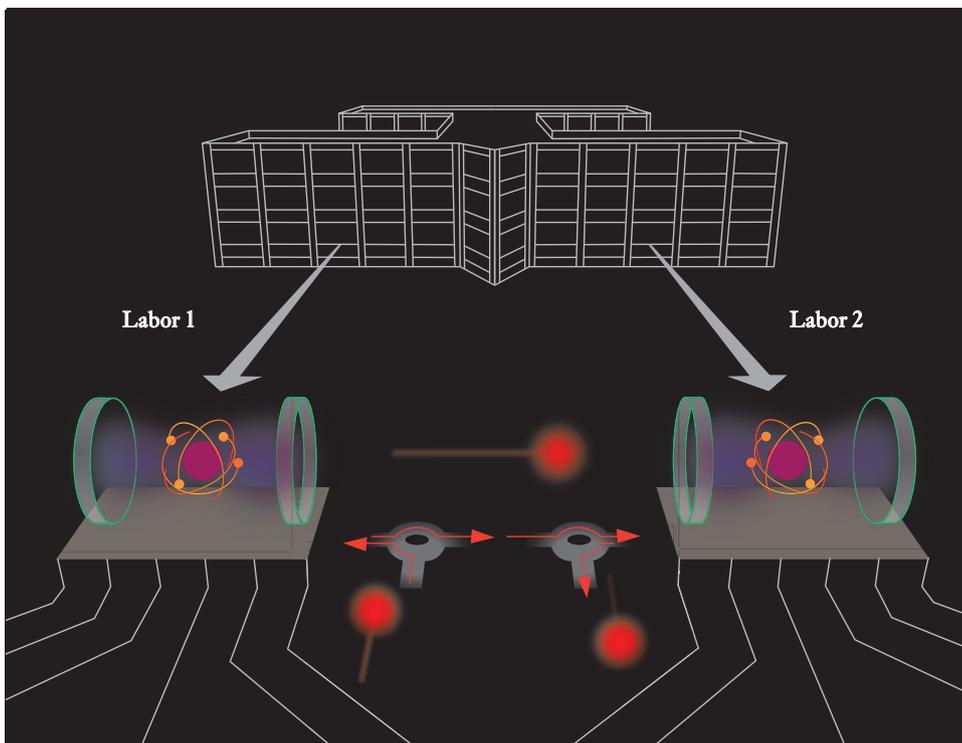


FOTO: AXEL GRIESCH



Verteiltes Rechnen: Zwei Atome zwischen Spiegelpaaren, die sich in verschiedenen Laboren befinden, führen gemeinsam eine Quantenrechnung aus. Als Vermittler dient ein Photon anstelle des elektrischen Signals im herkömmlichen Computer.

74

stück, die beiden Atome in den Modulen zu einem quantenlogischen Gatter mit einem Herold zu verschalten. Das Quantengatter kann man sich als Analogon zu den Logikgattern der herkömmlichen Elektronik vorstellen, allerdings mit Glasfasern für Photonen anstelle elektronischer Leiterbahnen. Solche verteilten Quantenprozessoren könnten ein Kernproblem von Quantencomputern überwinden, in denen die Qubits dicht beieinandersitzen und sich deshalb auch auf unerwünschte Weise gegenseitig stören können. Das würde ein Quantennetzwerk mit verteilten Prozessoren verhindern. Zudem sind lokale Quantennetzwerke mit einer solchen Funktion innerhalb von Gebäuden zunächst viel leichter zu realisieren als etwa ein globales Quanteninternet und wären damit ein erstes Anwendungsgebiet.

Vor Kurzem gelang den Garchingener Physikerinnen und Physikern mit zwei Atomen im Spiegelkabinett auch ein erster sogenannter wahlfreier Arbeitsspeicher für Quanteninformation. Bei herkömmlichen Computern kennt man dies als Random Access Memory. Ein solcher Speicher erlaubt

einen freien Zugriff auf jede Speicherzelle, und bei Gerhard Rempes Team sind diese Zellen jeweils die beiden Atome.

So entwickeln die Forschenden Stück für Stück Module der Quantenkommunikation. Da verwundert Gerhard Rempes Zuversicht nicht: Er glaubt, dass wir in diesem Jahrhundert die Etablierung einer echten Quantentechnik erleben werden. Seinen Optimismus begründet der Wissenschaftler auch mit der Geschichte: Große Entdeckungen der Physik wie zum Beispiel Optik und Mechanik, Thermodynamik, Elektrodynamik und Quantenphysik hätten sich immer im darauffolgenden Jahrhundert als Wirtschaftsmotoren erwiesen. Ihnen haben wir zahlreiche technische Durchbrüche vom Handel über die Massenproduktion bis zur Automatisierung zu verdanken.

„Vor dem Hintergrund, dass uns die Quantenphysik mit Transistoren und Lasern schon viele großartige Durchbrüche gebracht hat, stelle ich mir vor, dass das 21. Jahrhundert das Jahrhundert der Quanteninformation werden wird.“



## GLOSSAR

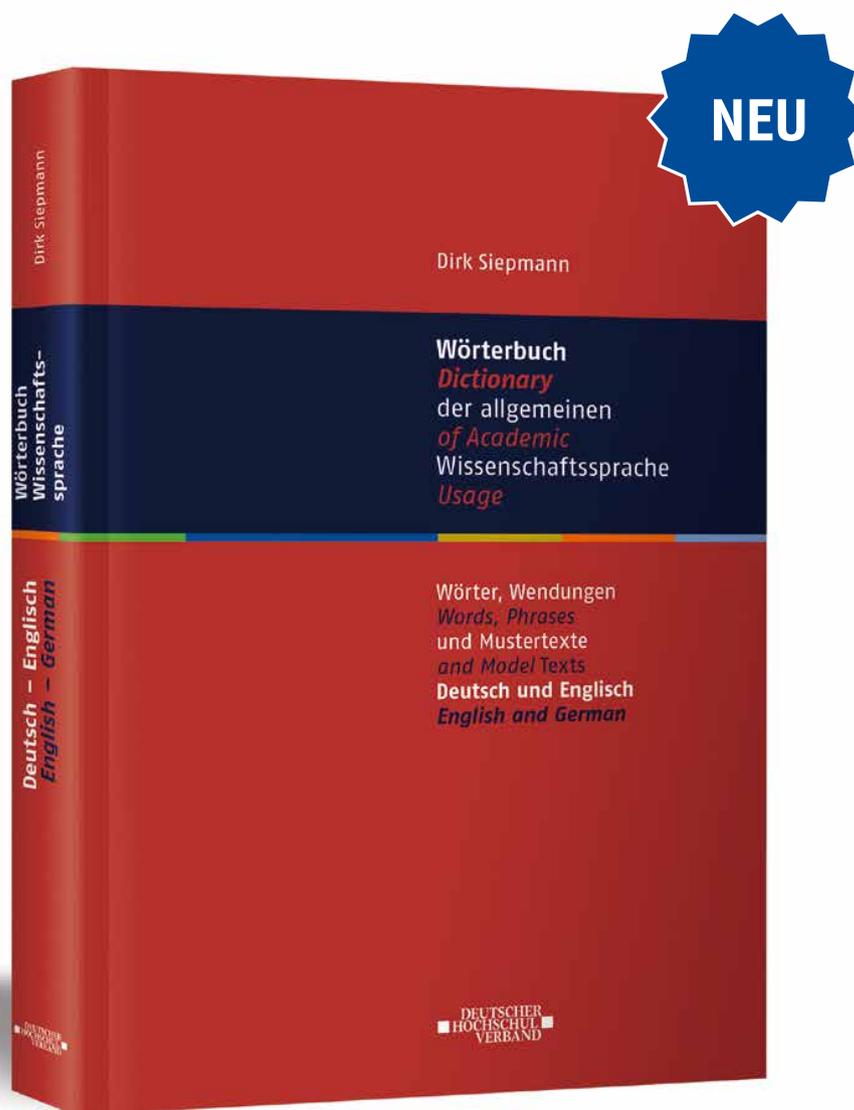
**QUANTENINFORMATION** nutzt als kleinste Einheit ein Qubit, das nicht nur 0 oder 1 codieren kann, sondern auch Zustände dazwischen. Das soll Quantencomputer viel leistungsfähiger machen als herkömmliche Rechner. Die Gesetze der Quantenphysik verbieten es zudem, Quanteninformation zu kopieren. So können sie Kommunikation abhörsicher machen.

**QUANTENREPEATER** sollen die Übertragung der fragilen Quanteninformation über weite Strecken ermöglichen und nutzen dafür die Verschränkung.

**VERSCHRÄNKUNG** macht aus mehreren, auch räumlich getrennten Quantensystemen wie etwa Photonen und Atomen in Resonatoren ein einziges ausgedehntes Quantensystem.

Sie müssen auf Englisch schreiben oder vortragen? Sie fragen sich, wie deutsche Wendungen, z.B. „aus Platzgründen muss ... ausgeklammert werden“ oder „... sei zunächst angemerkt, dass ...“ korrekt und geschliffen ins Englische übertragen werden? Oder Sie suchen nach Formulierungsalternativen?

Das „**Wörterbuch der allgemeinen Wissenschaftssprache / Wörter, Wendungen und Mustertexte**“ von Dirk Siepmann bietet Ihnen in komprimierter Form zahlreiche griffige und direkt umsetzbare Beispiele.

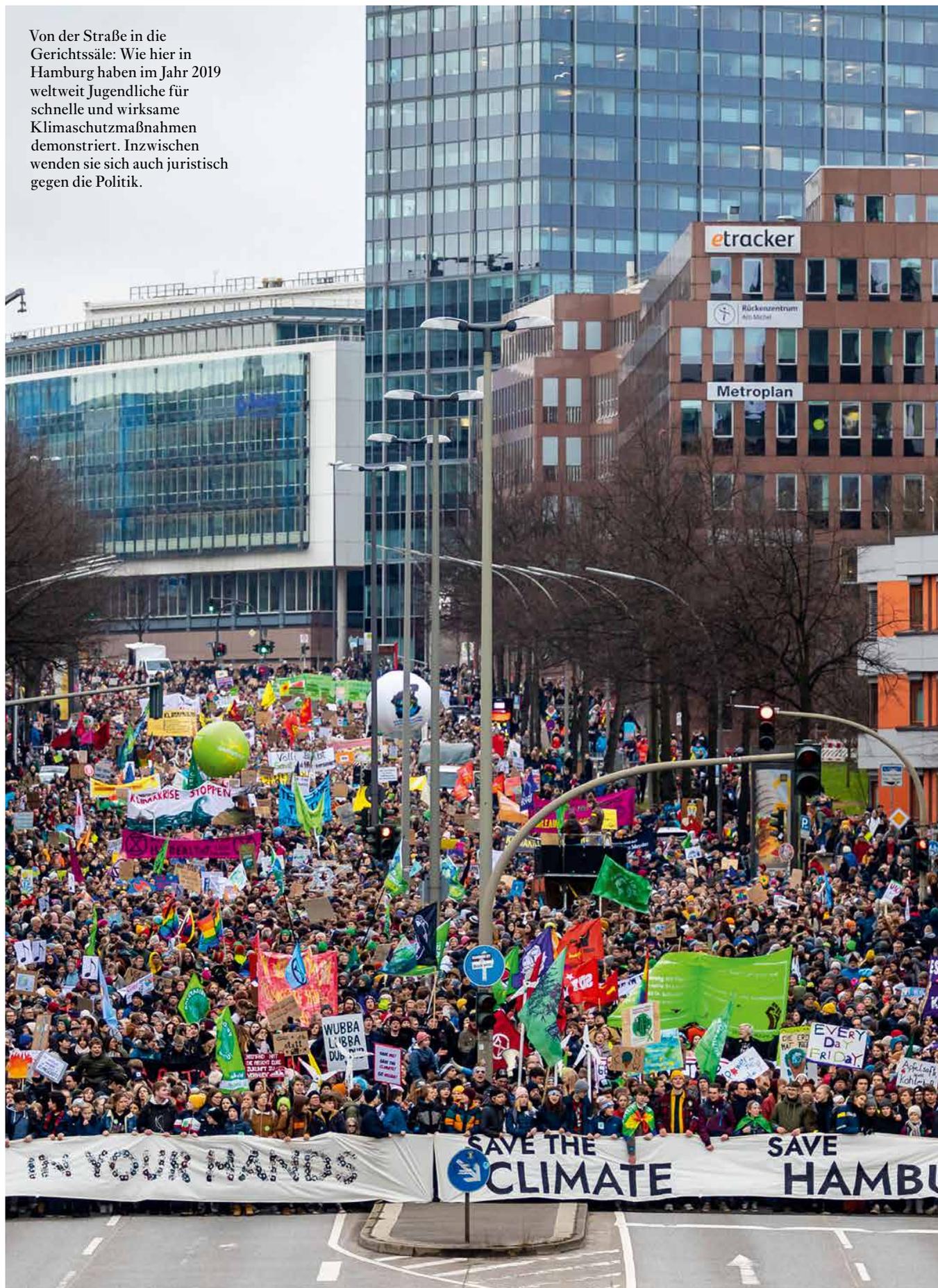


Gebundene Ausgabe, 352 Seiten, 34,90 Euro (D) inkl. Porto, für DHV-Mitglieder zum Sonderpreis von 29,90 Euro inkl. Porto. **Zu bestellen über:** Deutscher Hochschulverband, Rheinallee 18-20, 53173 Bonn, Tel. 0228 9026666, Fax 0228 9026680 oder per Mail: [dhv@hochschulverband.de](mailto:dhv@hochschulverband.de)

**Dirk Siepmann** ist Professor für Fachdidaktik des Englischen an der Universität Osnabrück. Er verfügt über eine jahrzehntelange Erfahrung in Fremdsprachendidaktik, Übersetzungswissenschaft und Lexikographie.

**DEUTSCHER  
HOCHSCHUL  
VERBAND**

Von der Straße in die Gerichtssäle: Wie hier in Hamburg haben im Jahr 2019 weltweit Jugendliche für schnelle und wirksame Klimaschutzmaßnahmen demonstriert. Inzwischen wenden sie sich auch juristisch gegen die Politik.



# GERICHTE ALS KLIMASCHÜTZER

TEXT: MICHAELA HUTTERER

Bisher schränken die meisten Industrieländer ihren CO<sub>2</sub>-Ausstoß nur halbherzig ein. Dabei zeigen sich die Auswirkungen der Erderwärmung immer deutlicher. Doch der Druck auf die Politik nimmt zu. Weltweit ziehen Klimaschützer vor Gericht, um die Bewahrung der natürlichen Lebensgrundlagen einzuklagen. Am Max Planck Institute Luxembourg for International, European and Regulatory Procedural Law und am Max-Planck-Institut für ausländisches öffentliches Recht und Völkerrecht befassen sich Forschende mit der Frage, was Rechtsprechung und Gesetze gegen den Klimawandel ausrichten können.

Hannes Schwerdtner aus der Uckermark ist zornig. Zornig auf die heftigen Sturmböen, die seine Wiesen, die früher seine 400 Rinder ernährten, in Sandwüsten verwandelt haben. Zornig auf die Bundesregierung wegen ihrer unambitionierten Klimapolitik und wegen der Wassernotstandsgesetze, die ihm keinen Brunnenbau erlauben. 30 Rinder halte er jetzt noch, den Rest habe er notschlachten müssen, erklärt der Landwirt als Zeuge vor dem Internationalen Gerichtshof in Berlin. Infolge von Sturmfluten war der Gerichtshof vorübergehend verlegt worden.

Was glaubhaft klingt, ist jedoch (noch) eine Fiktion aus dem ARD-Fernsehfilm „Ökozid“, ausgestrahlt im vergangenen November. Die Story: 31 Länder des globalen Südens verklagen die Bundesrepublik im Jahr 2034 auf Schadensersatz infolge unzureichenden Klimaschutzes – seien es der späte Ausstieg aus der Kohleenergie, die weltweite Vergabe von Krediten der staatlichen Förderbank KfW für den Bau von Kohlekraftwerken oder die Stützung der heimischen Autoindustrie durch lediglich halbherzige Maßnahmen zur CO<sub>2</sub>-Reduktion.

Alles Science-Fiction? Mitnichten. Was die Utopie des Autors und Regisseurs Andres Veiel zeigt, beruht auf neuesten Erkenntnissen der Klimaforschung und der Rechtswissenschaft. Rechtsexpertinnen und -experten des Heidelberger Max-Planck-Instituts für ausländisches öffentliches Recht und Völkerrecht lieferten den juristischen Background für das Drehbuch. Wissenschaftliche Fakten für ein sehr reales Zukunftsszenario, ein Planspiel für die Zeit, wenn sich die Erdatmosphäre noch weiter aufgeheizt haben wird – und zahllose Menschen

unter den Auswirkungen leiden werden. Tatsächlich ist das Szenario inzwischen gar nicht mehr so weit weg von der Realität. Ob Australien, die USA, Frankreich, die Schweiz, Großbritannien oder Deutschland: Immer öfter ziehen Klimaschützer vor Gericht. „Weltweit erleben wir eine sehr dynamische Entwicklung von Klimaklagen, die Zahl der anhängigen Verfahren explodiert“, berichtet Tom Sparks, wissenschaftlicher Referent am Max-Planck-Institut für ausländisches öffentliches Recht und Völkerrecht. „Ein Verfahren vor dem Internationalen Gerichtshof gibt es bislang zwar noch nicht, aber es wäre möglich“, erklärt der Experte für internationales Klima- und Verfahrensrecht, der auch die ARD-Filmemacher mitberaten hat.

Das Gros der Fälle spielt sich derzeit vor nationalen Gerichten ab. Das Schlagwort #climatejustice steht für den juristischen Kampf um mehr Klimaschutz und eine gerechtere Verteilung der Lasten und bildet die juristische Ergänzung der „Fridays for Future“-Bewegung, die Fortsetzung der Protestmärsche hinein in die Gerichts-



säle der Welt. In einem weltweiten Netz bündeln Klimaforschende, Aktivisten und Juristen ihr Wissen: Ob „Lawyers for Future“ oder Umweltrechtler in der Wissenschaft, sie alle setzen auf Gerichtsverfahren, die öffentliche Aufmerksamkeit schaffen; sie sammeln und analysieren Rechtsgrundlagen und Urteile weltweit, etwa in der Datenbank Ecolax.

## Klimaziele sind nicht direkt einklagbar

Das Hauptargument von Aktivisten, Betroffenen und Umweltverbänden, die sich per Klage gegen den Staat wenden: Der Klimawandel verletzt Menschenrechte. Er bedroht das ökologische Existenzminimum des Menschen, das sich aus dem Recht auf Leben, auf Familie, aber auch auf Wohnen ergibt. Es ist in nahezu allen Rechtsordnungen der Welt in nationales (Verfassungs-)Recht umgesetzt oder wird zumindest als Standard akzeptiert.

78

„Dieser Weg ist sehr vielversprechend, es gibt aber auch Grenzen“, beobachtet Rechtswissenschaftler Sparks. Nach dem Pariser Abkommen von 2015 sind die 191 beteiligten Staaten, darunter auch die EU-Mitgliedstaaten und die USA, verpflichtet, bestimmte Klimaziele zu erfüllen, die sie sich selbst gesetzt haben. „Einklagbar sind diese Ziele jedoch nicht direkt“, erklärt Sparks. Vor allem den Industrienationen als Treibhausgas-Emittenten sei es wichtig gewesen, mit dem Abkommen keine neue Klagemöglichkeit zu schaffen.

Und gerade deswegen scheitern auch viele Verfahren, wie ein Blick in die Urteilsdatenbank zeigt: Der Europäische Gerichtshof (EuGH) in Luxemburg wies Ende März den „People’s Climate Case“ – eine Klage von zehn Familien aus der EU, Kenia und Fidschi – auf strengere Klimaziele bereits unter formalen Gesichtspunkten ab. Die Kläger, wie die deutsche Familie Recktenwald aus Langeoog, arbeiten allesamt im Tourismus oder in der Landwirtschaft. Sie hatten das Europäische

Parlament und den Rat der EU wegen unzureichender Vorgaben zum Klimaschutz verklagt. Der EuGH entschied jedoch nicht in der Sache, er wies die Klage als unzulässig ab. Wie die Vorgängerinstanz verneinte er die Befugnis zur Klage. Klimaziele gewähren keine Individualrechte, lautet das Argument der Richter, selbst wenn die Folgen des Klimawandels durch Dürren oder Überflutungen einzelne Personen- oder Berufsgruppen bereits jetzt besonders treffen. Höhere Klimaziele – die Absenkung der Treibhausgase bis 2030 um 50 bis 60 Prozent (statt der bis zu jenem Zeitpunkt anvisierten 40 Prozent) gegenüber 1990 – lassen sich per Klage vor dem EuGH nicht durchsetzen.

Weniger eng sah es indes der Europäische Gerichtshof für Menschenrechte: Er ließ im März die Klagen junger Portugiesen im besonderen Verfahren zu. Die Kläger, Kinder und Jugendliche zwischen neun und 22 Jahren, fordern stärkere Klimaschutzmaßnahmen von 33 Unterzeichnerstaaten der Europäischen Menschenrechtskonvention, darunter auch von der Bundesrepublik. Hintergrund sind die verheerenden Waldbrände, die 2017 in der Region Pedrógão Grande mehr als 100 Menschen das Leben gekostet haben. Die Kläger berufen sich auf die Artikel 2 und 8 der Konvention, die das Recht auf Leben und das Recht auf Achtung des Privat- und Familienlebens schützen. Ihr Vorwurf: Die Untätigkeit der EU-Staaten, aber auch Russlands oder Großbritanniens gegen den Klimawandel ist für das Ausmaß der wiederholten Brände mitverantwortlich.

Dass die Richter die Klage zur Entscheidung zugelassen haben, ist für Rechtsexperten ein Novum: Normalerweise müssen Kläger erst nationale Instanzen durchlaufen, bevor sie vor dem Gerichtshof klagen dürfen. Hier machten die Straßburger Richter eine Ausnahme. Mehr noch: Sie bündelten die Klagen gegen die 33 Regierungen zu einem einzigen Verfahren und hoben die Wichtigkeit, Dringlichkeit und Priorität des Prozesses hervor. Bis Mitte Juli 2021

Fiktiver Prozess: Im Fernsehfilm *Ökozid* verhandelt der Internationale Gerichtshof im Jahr 2034 eine Klage von Ländern des globalen Südens gegen Deutschland. Die Staaten fordern Schadensersatz, weil die deutsche Politik zu wenig gegen den Klimawandel unternommen hat.




---

## AUF DEN PUNKT GEBRACHT

Bisher waren bereits Klagen für mehr Klimaschutz vor nationalen Gerichten erfolgreich. Die Richter haben ihre Entscheidungen mit Grund- und Menschenrechten begründet.

Im März hat der Europäische Gerichtshof für Menschenrechte eine Klimaklage gegen 33 europäische Staaten zugelassen.

Eine Pflicht zum Klimaschutz lässt sich auch aus dem Völkerrecht ableiten: Die No-Harm-Regel verbietet einem Land Maßnahmen, die einem anderen Land schaden.

---



FOTO: 2020 MATTHIAS FLEISCHER / ZERO ONE FILM

haben die Beklagten nun eine recht kurze Frist zur Stellungnahme. Falls die Straßburger Richter den Kindern und Jugendlichen recht geben, wäre das ein wichtiger Sieg im Kampf um Klimaschutz per Gerichtsentscheid.

Schützenhilfe bekommen Klimakläger vor allem aus den Niederlanden dank einer bahnbrechenden Entscheidung aus dem Dezember 2019 – die kurz „Urgenda“ heißt. „Sie ist die Blaupause für zahlreiche Klagen weltweit“, erklärt Alessandra Donati, wissenschaftliche Referentin am Max Planck Institute Luxembourg for International, European and Regulatory Procedural Law.

Die niederländische Stiftung Urgenda (aus „Urgent Agenda“) hatte die Regierung bereits 2013 im Namen von 900 niederländischen Bürgerinnen und Bürgern auf stärkeren Klimaschutz verklagt. Die Stiftung berief sich dabei auf völkerrechtliche Vorga-

ben, EU- und nationales Recht und forderte, die Regierung müsse bis Ende 2020 deutlich mehr tun, um die Pariser Klimaziele einzuhalten. Die Regierung strebte nur eine Reduktion um 20 Prozent unter den Werten von 1990 an. Zu wenig, entschied das Bezirksgericht Den Haag und verpflichtete die Regierung, die Emissionen bis 2020 um mindestens 25 Prozent zu senken. Zu Recht, befand auch der Hoge Raad, das höchste Gericht der Niederlande, in letzter Instanz. Die Richter beriefen sich ebenfalls auf die Europäische Menschenrechtskonvention: Der Staat verletze mit unzureichenden Klimaschutzvorgaben seine Pflicht, die aus den Artikeln 2 und 8 der Konvention folgt, die Bevölkerung vor den Gefahren des Klimawandels zu schützen.

Für Rechtswissenschaftler ist die Entscheidung eine Sensation. „Zum ersten Mal hat ein Gericht eine Handlungspflicht des Staates zur Einhal-

tung der Klimaziele begründet und diesen wegen der unzureichenden Umsetzung verurteilt“, erklärt Umweltrechtsexpertin Donati. „Staaten haben eine *duty of care* – eine Pflicht gegenüber ihren Bürgern, für eine gesunde Umgebung zu sorgen und sie vor Gefahren zu schützen.“ Ob diese Gefahr Einzelne oder die ganze Bevölkerung betrifft, sei ebenso unerheblich wie die Frage, wie konkret die Gefahr bereits sein muss. „Urgenda begründet die Haftung des Staates bereits für die absehbare Gefährdung seiner Bürger“, erklärt die frühere Anwältin Donati.

Ähnlich argumentierten Richter auch in Frankreich in diesem Februar im Fall „L’affaire du siècle“. In seinem Urteil stellte das Pariser Verwaltungsgericht explizit ökologische Schäden im Zusammenhang mit dem Klimawandel fest und machte den französischen Staat dafür verantwortlich. Geklagt hatten Umwelt- und Sozialverbände,



die nun eine Klage auf Schadenersatz vorbereiten. Auch in Deutschland ist der Druck auf den Gesetzgeber gewachsen. In einer unerwarteten, aber eindrucksvollen Entscheidung gab das Bundesverfassungsgericht im April 44 Beschwerdeführenden, darunter auch zehn Minderjährigen, in Teilen recht und erklärte das deutsche Bundes-Klimaschutzgesetz von 2019 für teilweise verfassungswidrig. Das Gesetz sieht vor, dass Deutschland gemäß dem Pariser Abkommen bis zum Jahr 2050 klimaneutral werden soll, und nennt konkrete Einsparziele bis 2030. Für die Zeit ab 2031 bis 2050 schweigt es indes. Aus Sicht der Richter ist damit eine unzulässige Einschränkung der Freiheitsrechte junger und künftiger Generationen verbunden. Wenn bis 2030 der CO<sub>2</sub>-Ausstoß kaum sinkt, müssen danach die Einschränkungen umso größer werden, damit die Klimaziele noch erreicht werden. Weil weiterhin nahezu

alle Bereiche menschlichen Lebens mit der Emission von Treibhausgasen verbunden sind, wird die Politik absehbar ab 2031 viele Freiheiten drastisch einschränken müssen – so die Argumentation des Gerichts.

Was die Karlsruher Richter fordern, ist eine echte Langfriststrategie in der Klimapolitik für die künftigen Generationen, wie es auch Artikel 20a des Grundgesetzes vorsieht: „Der Staat schützt auch in Verantwortung für die künftigen Generationen die natürlichen Lebensgrundlagen und die Tiere.“ Ob das neue Klimaschutzgesetz, das die Bundesregierung sehr rasch nach der Entscheidung Mitte Mai auf den Weg brachte, den Anforderungen der Richter entspricht, wird sich zeigen. Es sieht 65 Prozent weniger Treibhausgas-Emissionen bis 2030 vor (statt bislang 55 Prozent bezogen auf 1990) und zielt auf Klimaneutralität bis 2045 (statt bis 2050).

Niederlande, Frankreich, Deutschland: Was bringt ein Flickenteppich nationaler Entscheidungen? Erfordert die globale Erwärmung nicht vielmehr globales Vorgehen und globale Vorgaben? „Ich sehe zwei Wege, die Auswirkungen der Erderwärmung abzumildern“, sagt Alessandra Donati. „Gesetzgebung und Gerichtsverfahren. Klimaklagen sind nur ein Teil davon. Wichtiger sind sinnvolle Klimagesetze selbst.“ Im Rahmen eines Forschungsprojekts prüft sie, wie sich die Vorschläge des EU Green Deal, der strengere Vorgaben für die EU machen will, umsetzen lassen, um ökologischen, wirtschaftlichen und rechtlichen Klimarisiken nach EU-Recht zu begegnen.

Mit Spannung beobachten Experten, welche Impulse künftig im Kampf um das Klima gesetzt werden. Was zählt, ist ein weltweiter Handlungswille – und der setzt Einigung inner-

Für das Recht auf ein menschenwürdiges Klima: Mariana (9), Cláudia (22), Martim (18) und Catarina (20) haben mit zwei weiteren portugiesischen Jugendlichen erfolgreich Klage beim Europäischen Gerichtshof für Menschenrechte eingereicht.



FOTO: GLAN

halb der Weltgemeinschaft voraus. „Seit Paris stockt der Einigungsprozess zu tiefer gehenden Maßnahmen – vielfach aufgrund des Widerstands der Emittentenländer“, beobachtet Sparks. „Zurückhaltend hoffnungsvoll“ stimmen ihn und Wissenschaftlerin Donati Ergebnisse des virtuellen Regierungstreffens zum Earth Day im April, an dem vor allem Gastgeber USA unter der neuen Präsidentschaft vorgeprescht ist.

## Kein Land darf einem anderen schaden

Wie ernst es die internationale Gemeinschaft mit dem Klimaschutz meint, wird sich gegen Ende des Jahres zeigen. Der Klimagipfel in Glasgow könnte verbindlichere Vorgaben beschließen. Aber was, wenn nicht? Lässt sich eine Handlungspflicht begründen? Dieser Frage widmet sich Tom Sparks. Er prüft, inwieweit Staaten aufgrund internationalen Rechts sogar verpflichtet sind zu handeln. So könnte sich aus dem Völkerrecht selbst eine Pflicht zur Einigung ergeben – etwa über die No-Harm-Regel, die einem Land Maßnahmen verbietet, deren Auswirkungen zulasten eines anderen Landes gehen. Eine internationale Pflicht zum Klimaschutz – das scheint die Lösung angesichts steigender Meeresspiegel, Brand- und Sturmschäden und zunehmender Trockenheit.

In der Zwischenzeit bleibt nur die Hoffnung auf Klimaschutz im Eiltempo per Gerichtsurteil. Hoffnungen ruhen vor allem auf dem Internationalen Gerichtshof in Den Haag (IGH). Er kann sich aller Rechtsthemen annehmen, solange sich die Parteien über seine Zuständigkeit einig sind. „Zwischenstaatliche Klagen können einen weitaus größeren Effekt für die Lösung des Klimaproblems haben, da sie – anders als Verfahren, die sich primär auf Menschenrechtsverletzungen stützen, in der Regel nicht nur national wirken“, berichtet Sparks.

Ob ein Land des globalen Südens tatsächlich gegen Deutschland oder andere Industrienationen eine Klage



FOTO: PATRICIA DE MELO MOREIRA/AFP VIA GETTY IMAGES

Tödliche Feuer: Waldbrände kosteten 2017 in der Region Pedrógão Grande in Portugal mehr als 100 Menschen das Leben. Die Brandkatastrophe war Anlass für die Klimaklage junger Portugiesen.

vorbereitet, ist noch nicht bekannt – anders als im Fernsehfilm. Was die obersten Richter der Weltgemeinschaft über die Zielvorgaben und Klimabemühungen der Weltgemeinschaft denken, lässt sich in der Zwischenzeit auch anders herausfinden. „Möglich wäre etwa ein Antrag in der UNO-Vollversammlung im kommenden Jahr, dass die Richter ihre Rechtsansicht über konkrete recht-

liche Fragen äußern“, sagt Sparks. „Eine *advisory opinion* des Internationalen Gerichtshofs hat eine enorme Bedeutungskraft, da sie eine autoritative Erklärung der Rechte und Pflichten der Staaten bietet.“ Davon würden auch nationale Gerichte in ihrer Entscheidungsfindung profitieren. Und so könnten die Richter des IGH wirklich zu obersten Klimaschützern werden.



Gefahr aus dem Brunnen: In einigen Gegenden Indiens ist das Grundwasser natürlicherweise mit Arsen belastet. Eine Informationskampagne soll Dorfbewohner über die Risiken aufklären. Dazu gehört auch, den Gesundheitszustand aller Familienmitglieder zu erfragen.

82 Max-Planck-Forschende kooperieren mit Partnern in mehr als 120 Ländern. Hier schreiben sie über ihre persönlichen Erfahrungen und Eindrücke. Shambhavi Priyam vom Max-Planck-Institut zur Erforschung von Gemeinschaftsgütern koordiniert im Nordosten Indiens eine Informationskampagne, um Menschen vor arsenbelastetem Brunnenwasser zu schützen. Sie berichtet von kulinarischen Genüssen, den Mühen der indischen Bürokratie und Geburtstagsfeiern in Corona-Zeiten.

Viele, die von Arsen hören, denken zuerst an Giftmord. Kaum jemand in Deutschland weiß, dass in Indien und Bangladesch Millionen Menschen an chronischer Arsenvergiftung leiden und dass jedes Jahr Zehntausende daran sterben. Hochgiftige Arsenverbindungen kommen hier in manchen Gegenden von Natur aus im Grundwasser vor. Etlliche Brunnen sind damit belastet. Weil man das Arsen im

Wasser nicht sieht, schmeckt oder riecht und auch nicht gleich davon krank wird, wissen viele gar nicht, dass sie ihrer Gesundheit jeden Tag schaden. Sie verwenden das Brunnenwasser zum Trinken, zum Kochen und zum Bewässern der Felder. Dabei ziehen sie sich über die Jahre eine chronische Vergiftung zu. Typisch dafür sind eine schmerzhaft, juckende Hornhaut an den Handflächen und Fußsohlen sowie dunkle Flecken auf der Haut. Manchmal kommt es erst nach Jahrzehnten zu Nervenkrankheiten oder Krebs.

Wir möchten herausfinden, wie man die Menschen am besten auf die unsichtbare Gefahr aufmerksam macht und sie dazu bringt, ihre Gewohnheiten zu ändern. An der Studie nehmen 150 Dörfer aus der Region Bihar im Nordosten Indiens teil. Die Menschen hier betreiben Landwirtschaft oder verdienen ihr Geld als Wanderarbeiter. Viele können nicht lesen oder schreiben und haben nur sehr begrenzt Zugang zu medizinischer Versorgung. Um sie über das Arsenproblem aufzuklären, haben wir in Zusammenarbeit mit der lokalen Regierung einen Film gedreht. Die Filmarbeit war völliges

Neuland für mich, hat aber großen Spaß gemacht.

Die Aufnahmen informieren über die Gefahr und zeigen, wie man an sicheres Wasser kommt. Dazu kann man Wasser aus Teichen und Flüssen abkochen. Es geht aber noch einfacher: Man lässt Brunnenwasser über Nacht stehen, sodass sich das Arsen am Boden absetzen kann. Den Überstand kann man gefahrlos verwenden. Eine kleine Änderung im Verhalten hat also eine immense Wirkung – das möchte ich möglichst vielen Menschen nahebringen!

Dafür arbeite ich mit lokalen Helfern zusammen. Sie fahren in die Dörfer, messen die Arsengehalte in den Brunnen, befragen die Leute zu ihren Gewohnheiten und ihrem Gesundheitszustand und zeigen den Film. Um die Menschen zu erreichen, ist es wichtig, dass alle Mitwirkenden die Sprache sprechen und die Gegebenheiten vor Ort kennen. Ich selbst bin in Patna geboren, der Hauptstadt von Bihar. Hier habe ich die ersten zehn Jahre meines Lebens verbracht. Eine erste Zwischenbilanz unserer Studie ist positiv: In einer Stichprobe aller teilneh-

## INDIEN

menden Haushalte haben wir bereits eine Verbesserung der Wasserqualität festgestellt. Auf lange Sicht möchten wir allerdings noch weitere Fragen klären: Erinnern sich die Menschen an die Inhalte des Films und verhalten sie sich nun anders? Geben sie die Informationen weiter? Wie geht es ihnen gesundheitlich? Positiv ist, dass die Leute für das Thema aufgeschlossen sind. Aufgrund von Corona hat sich das Projekt allerdings stark verzögert.

Momentan sitze ich die meiste Zeit in einer kleinen Wohnung in Patna und arbeite am Rechner. Wenn ich frei habe, würde ich mich gerne mit meinen Verwandten treffen, denn viele aus meiner Familie leben hier. Das fällt jetzt leider aus. So habe ich kürzlich auch meinen Geburtstag sehr ruhig und Corona-konform verbracht: Meine Cousinen und Cousins haben mich mit einem selbst gebackenen Kuchen überrascht, und später gab es noch eine Party mit Freunden – per Videochat. Es ist großartig, dass ich hier während der Corona-Katastrophe ein enges Netzwerk von Unterstützerinnen und Unterstützern habe, andernfalls wäre es wirklich schwierig, vor Ort zu arbeiten.

Wenn ich in Indien bin, genieße ich vor allem das leckere Essen mit all seinen wunderbaren Gewürzen, das man so nur hier bekommt. Die deutsche Küche könnte für meinen Geschmack deutlich mehr Würze vertragen, da muss ich oft kräftig nachhelfen. Ab und zu esse ich aber auch gern Käsespätzle, ganz ohne asiatische Aromen! An Indien gefällt mir besonders, wie leicht man hier mit Menschen auf der Straße ins Gespräch kommt und dabei ständig Neues lernt. Manchmal aber vermisse ich Deutschland – vor allem dann, wenn ich mit Behörden zu tun habe. Die Mühlen der indischen Bürokratie mahlen einfach unglaublich langsam. An den Deutschen gefällt mir, dass sie geradeheraus sind und sagen, was sie denken. Das ist in Indien anders: Hier hört man selten ein klares Ja oder Nein.

Ich liebe es, unterwegs zu sein, und habe zeitweise auch schon in den USA und in Frankreich gelebt. Zu Hause fühle ich mich dort, wo ich gerade bin. In Zukunft würde ich gerne als Wissenschaftlerin in Deutschland bleiben, denn die Forschungsumgebung ist für mich ideal.



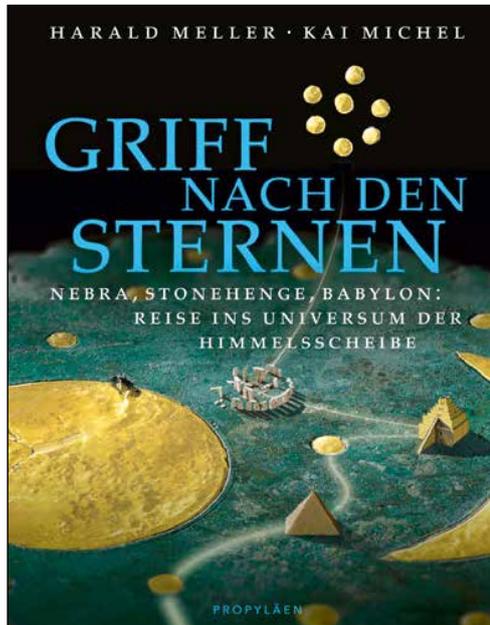
FOTO: VIRAJ TADWALKAR

Shambhavi Priyam

27, studierte Wirtschaft am St. Xavier's College in Mumbai. Seit 2017 promoviert sie am Bonner Max-Planck-Institut zur Erforschung von Gemeinschaftsgütern. In der Abteilung „Experimentelle Wirtschaftsforschung“ von Direktor Matthias Sutter beschäftigt sie sich mit der Frage, wie sich soziale Normen auf das Gesundheitsverhalten auswirken. Als preisgekrönte Science-Slammerin lässt sie andere gern an ihrer Forschung teilhaben.

## DER HIMMEL AUF EINER SCHEIBE

Die Entdeckung einer Himmelsdarstellung aus Bronze und Gold in der Nähe der Kleinstadt Nebra in Sachsen-Anhalt war eine Sensation. Im Jahr 2002 hat der Archäologe Harald Meller die „Himmelsscheibe von Nebra“ Raubgräbern in einer spektakulären Undercoveraktion in Basel abgeluchst. Seitdem begleitet der heutige Leiter des Landesmuseums für Vorgeschichte in Halle die Erforschung des Jahrhundertfonds. Die Himmelsscheibe ist Meller zufolge das Produkt einer bisher unbekannteren Hochkultur, die im Raum Magdeburg um 2000 vor Christus entstand und 400 Jahre später, wohl zur Zeit der Deponierung der Scheibe in der Erde, unterging. Die Herrscher ließen kreisförmige Kultstätten nach dem Vorbild von Stonehenge und gewaltige Grabhügel errichten. In ihrem neuen Buch erzählen Meller und der Wissenschaftsjournalist Kai Michel die faszinierende Geschichte der Scheibe und verknüpfen sie mit den zur selben Zeit existierenden Hochkulturen in Südengland, in Ägypten und Babylon, mit denen das Reich von Nebra in Kontakt stand. Die hochwertigen Abbildungen und die beeindruckende zeichnerische Dar-



stellung des Lebens in der Bronzezeit lassen eine Epoche lebendig werden, die vor etwa dreieinhalbtausend Jahren in Vergessenheit geriet. Für alle Fans der Himmelsscheibe ist das neue Buch ein absolutes Muss, für alle anderen – eigentlich auch!

*Harald Rösch*

---

Harald Meller, Kai Michel  
Griff nach den Sternen  
272 Seiten, Propyläen Verlag  
39,00 Euro

## EINE GESCHICHTE DER ANSTECKUNG

Medizinhistorisch Interessierte, die nach dem anhaltenden Konsum von Corona-Inzidenzen und -Kurznachrichten tiefer in das Thema Pandemien einsteigen möchten, werden in Mark Honigsbaums neuem Buch fündig. Zehn Jahre lang hat der Journalist und Medizinhistoriker nach eigenen Angaben dafür recherchiert. Dabei vergrub er sich nicht nur in Archiven, sondern reiste auch an die Orte des Geschehens, um mit Forschenden, Ärztinnen und Betroffenen zu sprechen. Herausgekommen ist ein wissenschaftlich fundierter und zugleich fesselnder Band, der berühmte Seuchen wie die Spanische Grippe, Aids und Ebola be-

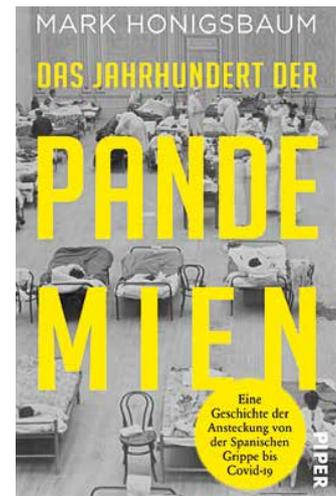
handelt, aber auch weniger bekannte Infektionsereignisse wie den Ausbruch der Pockenkrankheit im Jahr 1929/30. Bemerkenswert ist, wie sich Forschende auf der Suche nach den Krankheitserregern immer wieder von der eigenen Voreingenommenheit in die Irre führen ließen. Auch bleibt das mulmige Gefühl, dass aus Fehlern wenig gelernt wurde – und dies in einer Welt, die mittlerweile so vernetzt ist, dass ein neu auftauchendes Virus innerhalb von 72 Stunden jeden Ort erreichen kann. Das letzte Kapitel widmet Honigsbaum der Covid-19-Pandemie, wobei manches davon naturgemäß bereits überholt ist. Spannend

sind seine Schilderungen, wie aus einem lokalen Ausbruch auf einem Markt in Wuhan eine weltumspannende Plage werden konnte. Und keinesfalls die letzte, wie der Autor schreibt: „Seuchen sind vielleicht unvorhersagbar, aber sie werden wiederkehren.“

*Elke Maier*

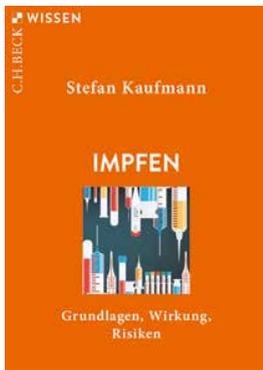
---

Mark Honigsbaum  
Das Jahrhundert der Pandemien  
480 Seiten, Piper Verlag  
24,00 Euro



# NEU

# ERSCHIENEN

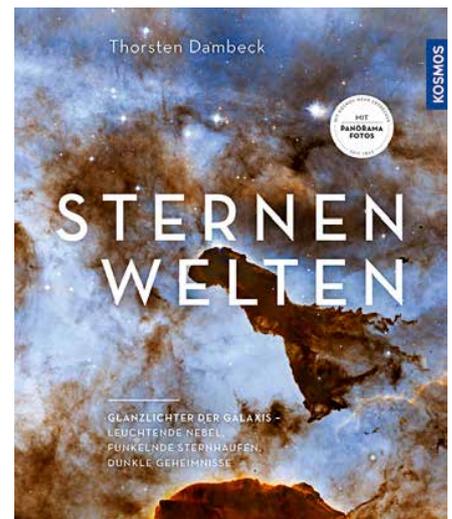


## EIN PIKS, DER SICH AUSZAHLT

Seit es Impfungen gibt, gibt es auch Impfgegner. Nachdem Anfang des 19. Jahrhunderts die Pockenimpfung in Frankreich und später auch in vielen Teilen Deutschlands verpflichtend eingeführt worden war, wuchs in den Jahren danach der Widerstand. Die Kritiker befürchteten eine Übertragung „viehischer“ Eigenschaften auf den Menschen, denn der Impfstoff enthielt – für den Menschen ungefährliche – Kuhpockenviren. Mit seinem Buch möchte Stefan Kaufmann auch heute verbreiteten Wissenslücken und Mythen sowie bewusst gestreuten Falschinformationen entgegentreten. Der Gründungsdirektor des Max-Planck-Instituts für Infektionsbiologie stellt die wichtigsten Krankheitserreger vor und erklärt, wie sich das Immunsystem gegen sie zur Wehr setzen kann. Dabei gelingt es ihm, die ungeheure Komplexität unserer Körperabwehr klar und verständlich darzustellen. Trotzdem wird dem einen oder anderen angesichts der Fülle unterschiedlicher Typen von Immunzellen ein wenig der Kopf schwirren. Auch bei der Beschreibung der verschiedenen Impfstofftypen und Impfschemata beschränkt sich Kaufmann auf für den Laien relevante Aspekte. Insbesondere bei den zurzeit heiß diskutierten Themen Herdenimmunität, Impfgerechtigkeit und Kosten-Nutzen-Rechnungen profitiert der Autor von seiner langjährigen Erfahrung mit der Erforschung eines neuen Impfstoffs gegen Tuberkulose. Kaufmanns Fazit: Impfungen sind neben sauberem Wasser die kostengünstigste Gesundheitsmaßnahme überhaupt! *Harald Rösch*

---

Stefan Kaufmann  
Impfen  
144 Seiten, C. H. Beck Verlag  
9,95 Euro



85

## GLANZLICHTER DER GALAXIS

Wer in einer klaren, dunklen Nacht zum Himmel blickt, mag einfach nur staunen über die funkelnde Pracht der Sterne oder das schimmernde Band der Milchstraße. Dass sich dahinter Faszinierendes, geradezu Ungeheuerliches verbirgt, lässt sich nicht einmal errahnen: In bizarren und farbenprächtigen Gasnebeln werden Sonnen geboren, während andere mit gigantischen Feuerwerken zugrunde gehen und zu Neutronensternen oder schwarzen Löchern kollabieren. Manche dieser stellaren Zombies umkreisen einander in rasender Geschwindigkeit. Und wenn die beiden Partner am Ende eines solchen wilden Tanzes verschmelzen, lassen Gravitationswellen den Kosmos erbeben. Aber auch die Galaxis, unsere kosmische Heimat, führt ein bewegtes Leben. Sie ähnelt einer Spirale, die durch geheimnisvolle Kräfte verdreht ist. Und im Herzen dieser Milchstraße lauert ein dunkles Massemonster, in

dessen Nähe zwei „Schornsteine“ aus turbulentem Gas entspringen. Alle diese Objekte, an deren Erforschung auch Max-Planck-Wissenschaftlerinnen und -Wissenschaftler beteiligt sind, stellt Thorsten Dambeck in seinem neuen Buch vor. Der Autor schreibt gewohnt kenntnisreich, verständlich und unterhaltsam. Das opulente Bildmaterial macht seine Darstellung auch optisch zu einem Genuss. Alle, die sich nach dieser erhellenden Lektüre wieder einmal auf astronomische Entdeckungsreise begeben, werden das Firmament mit ganz anderen Augen sehen.

*Helmut Horning*

---

Thorsten Dambeck  
Sternenwelten  
224 Seiten, Franckh-Kosmos Verlag  
40,00 Euro

# FÜNF FRAGEN

## ZU GLYPHOSAT

AN MARTIN KALTENPOTH



**Herr Kaltenpoth, Sie haben in Ihrer Studie gezeigt, dass Glyphosat Getreideplattkäfern schadet. Einer anderen Studie zufolge wirkt sich die Substanz negativ auf Honigbienen aus. Welche Insekten könnten noch betroffen sein?**

86 MARTIN KALTENPOTH Im Detail wissen wir das noch nicht. Aber Glyphosat könnte vielen Insekten schaden, die auf Symbiosebakterien angewiesen sind. Dazu zählen Arten, die sich von Pflanzensäften ernähren, also zum Beispiel Blattläuse, Zikaden oder Wanzen. Aber auch viele Käfer-, Bienen- und Ameisenarten beherbergen Symbionten und könnten von Glyphosat betroffen sein.

**Glyphosat galt als ein reines Pflanzenvernichtungsmittel. Warum wirkt es auch auf Insekten?**

Es hemmt den sogenannten Shikimat-Stoffwechsel, mit dem Pflanzen unter anderem aromatische Aminosäuren herstellen. Aber nicht nur Pflanzen, sondern auch manche Bakterien und Pilze nutzen diesen Stoffwechselweg. Insekten, die ihren Bedarf an aromatischen Aminosäuren wie dem Tyrosin nicht mit ihrer Nahrung decken können, beherbergen Bakterien in speziellen Organen für die Aminosäure-Produktion. Sie leben mit diesen in Symbiose. Glyphosat wirkt auf diese Mikroben wie ein Antibiotikum: Nachdem die Insekten das Gift über die Nahrung aufgenommen haben, verteilt es sich im Körper und tötet die innerhalb der Zellen der Symbioseorgane lebenden Bakterien. Ohne ihre Partner fehlt den Insekten das Tyrosin für die Bildung

des Außenskeletts. Die Folge ist, dass sie schneller austrocknen und leichter von Feinden gefressen werden können. Bei den Bienen schädigt das Mittel nicht Bakterien in Symbioseorganen, sondern in der Darmflora. Die Bienen werden dadurch anfälliger für Krankheitserreger.

**Glyphosat ist seit Jahrzehnten auf dem Markt. Worauf müsste man in Zukunft bei der Zulassung von Pestiziden achten, um die Auswirkungen auf andere Organismen frühzeitig zu erkennen?**

Man sollte die Wirkung von Pestiziden in Zukunft an einer größeren Anzahl unterschiedlicher Arten testen. Insekten sind eben nicht alle gleich, und was die eine Art toleriert, kann der anderen massiv schaden. Außerdem wissen wir heute, dass die Fokussierung auf die mittlere letale Dosis – also die Konzentration, bei der die Hälfte der Testorganismen stirbt – nicht ausreicht. Die Hersteller von Pestiziden müssen Effekte stärker berücksichtigen, die nicht direkt zum Tod führen. Zum Glück findet diese Erkenntnis bei der Risikobewertung zunehmend Beachtung.

**Auch für uns Menschen sind die Mikroorganismen lebenswichtig. Welche Folgen könnten Rückstände des Pestizids für unsere Darmflora haben?**

Auch manche Bakterien im menschlichen Darm nutzen den Shikimat-Stoffwechsel. Sie könnten also durchaus von Glyphosat beeinträchtigt werden. Studien haben nachgewiesen, dass das Mittel die Darmflora

von Mäusen und Ratten in für Menschen als akzeptabel angenommenen Konzentrationen beeinflussen kann. Ob eine Glyphosat-bedingte Veränderung der Darm-Mikrobiota möglicherweise auch für Menschen Folgen hat und, wenn ja, welche, ist noch unklar.

**Bislang ging man davon aus, dass sich Glyphosat allenfalls indirekt auf Insekten auswirkt, indem es zum Beispiel ihre Nahrungspflanzen vernichtet. Angesichts der neuen Erkenntnisse: Könnte das Mittel ein Grund für das grassierende Insektensterben sein?**

Das Insektensterben hat sicherlich verschiedene Ursachen. Klar ist aber, dass viele Insekten Symbiosebakterien zum Überleben brauchen. Ich befürchte daher, dass Glyphosat zum Rückgang der Insekten beitragen könnte. Deshalb halte ich den weiteren Einsatz auch für bedenklich. Wenn wir aber auf Pestizide verzichten wollen, dann müssen wir über Alternativen diskutieren, zum Beispiel über den Einsatz gentechnisch veränderter Pflanzen. Leider findet diese Diskussion derzeit kaum statt.

*Interview: Harald Rösch*

Prof. Dr. Martin Kaltenpoth  
ist Direktor am Max-Planck-Institut  
für chemische Ökologie.



**MAX PLANCK**  
GESELLSCHAFT

