

Ausgabe 01 | 2020

# MAX PLANCK

*Forschung*

**KOSMOLOGIE**

Die Philosophin des Urpralls

**ALTERNSFORSCHUNG**

Der Methusalem-Cocktail

**VERHALTENSÖKONOMIE**

Nur Geduld!



**WIRTSCHAFT AUF  
DEM GRÜNEN ZWEIG**



FOTO: OKAFIA

**E**igentlich sind Pflanzen viel zu schade, um sie, wie diesen Tabak hier, einfach in Rauch aufgehen zu lassen, denn sie binden große Mengen Kohlendioxid. Pflanzliche Produkte besitzen daher eine ausgeglichene Kohlendioxidbilanz als solche, die aus Erdöl erzeugt werden, und belasten das Klima deutlich weniger. Deshalb werden sie für eine nachhaltige Ökonomie unverzichtbar sein – sei es als Kraftstoffe oder sei es als Substanzen für die Medizin.

# EDITORIAL

---

Liebe Leserin, lieber Leser!

„Nichts ist so beständig wie der Wandel.“ Besser als mit diesem Satz des antiken Philosophen Heraklit könnte unsere heutige Gesellschaft kaum beschrieben werden. Dass auch die Wissenschaft einer permanenten Veränderung unterliegt, zeigt sich an der Corona-Pandemie – sie stellt ständig unerwartete und lebensentscheidende Aufgaben. Nicht nur in dieser Ausnahmesituation spielt die Kommunikation eine wichtige Rolle, die sich selbst unablässig den Umbrüchen in der Medienlandschaft anpassen und stets auf neue Herausforderungen reagieren muss.

In dieser bewegten Zeit kann ein Wissenschaftsmagazin nicht stillstehen. So halten Sie heute eine *Max Planck Forschung* in den Händen, die sich verändert hat. Wir möchten bei der Themenwahl verstärkt auf Aktualität und gesellschaftliche Relevanz achten und Forschungsergebnisse in einen größeren Zusammenhang einbetten. Zudem bündeln wir die umfassenderen Berichte nun unter *Wissen aus*. Meldungen über Forschungspolitik und Wissenschaft vereinigen wir in *Kurz notiert*. Die Rubrik *Besuch bei* stellt Ihnen Persönlichkeit, Biografie und Motivation von Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftlern vor. Und wie Sie sehen, haben wir passend zur inhaltlichen Neuorientierung eine luftigere Optik gewählt.

Veränderung steht auch im Fokus dieser Ausgabe. Denn globale Krisen, allen voran der menschengemachte Klimawandel, bestimmen unser tägliches Leben. Nicht von ungefähr ist *Bioökonomie* das Thema des Wissenschaftsjahres 2020. Die Forschenden der Max-Planck-Gesellschaft können dazu eine Menge beitragen. Sie zeigen, dass eine „grüne Wirtschaft“ mehr Chancen bietet, als nur fossile Rohstoffe zu ersetzen – und ganz neue Arten der chemischen Produktion ermöglicht. Wie aber kann der ökonomische Wandel gelingen? Antworten geben die Beiträge in diesem Heft.

Viel Spaß beim Lesen!



38



48



56



72

FOTOS: SHUTTERSTOCK (LINKS OBEN); FRANK VINKEN (RECHTS OBEN); WOLFRAM SCHEIBLE (RECHTS UNTEN)

**38 | FOLGENREICH**

Wir sind abhängiger vom Rohstoff Kohle, als wir denken.

**48 | EINFALLSREICH**

Anna Ijjas stellt das Standardmodell Urknall infrage.

**56 | ERFOLGREICH**

Ein Medikamenten-Mix hat bei Fliegen lebensverlängernde Wirkung.

**72 | VARIANTENREICH**

Synthetisches Elfenbein lässt sich in verschiedenen Farben herstellen.

## 03 | EDITORIAL

## 06 | ORTE DER FORSCHUNG

Wissenschaftler nehmen Holzproben im brasilianischen Urwald.

## 08 | KURZ NOTIERT

## 16 | ZUR SACHE

Wohl keine andere körperliche Erkrankung belastet so sehr wie Krebs. Die Ursache der Krankheit wurde lange Zeit in der Persönlichkeit der Betroffenen gesucht. Ein fataler Irrtum.

## IM FOKUS

Wirtschaft auf dem grünen Zweig

## 22 | Sprit aus Stiel und Stängel

Für Biokraftstoffe der zweiten Generation müssen keine Energiepflanzen auf Ackerflächen angebaut werden. So konkurrieren sie nicht mehr mit der Nahrungsmittelerzeugung.

## 30 | Fabriken auf dem Feld

Die Produktionsanlagen der Zukunft stehen auf dem Acker: Pflanzen sollen in Zukunft Substanzen erzeugen, die bislang nur aufwendig herzustellen sind.

## 38 | Eine Inventur des fossilen Zeitalters

Der Klimawandel erfordert den Abschied von Erdöl und Kohle. Doch von den fossilen Rohstoffen loszukommen, wird nicht leicht werden.

## 46 | INFOGRAFIK

Der Neandertaler in uns

## 48 | BESUCH BEI

Anna Ijjas  
Die Philosophin des Urpralls

## WISSEN AUS

## 56 | Der Methusalem-Cocktail

Fruchtfliegen und Mäuse verraten Wissenschaftlern ganz Erstaunliches über das Älterwerden.

## 62 | Das Rätsel der himmlischen Blitze

Ständig registrieren Radioteleskope nur tausendstel Sekunden andauernde Pulse. Woher stammen diese Fast Radio Bursts?

## 66 | Nur Geduld!

„Wer warten kann, hat mehr vom Leben“, sagen Verhaltensökonominnen und untersuchen, wie sie die Ausdauer von Kindern und Jugendlichen fördern können.

## 72 | Elfenbein aus dem Reagenzglas

Das synthetische Material soll im großen Stil produziert werden, und das nicht nur für Pianotasten.

## 78 | POST AUS ...

Barbados, Karibik

## 80 | NEU ERSCHIENEN

## 82 | FÜNF FRAGEN

Zu Protestwahlen

## 83 | IMPRESSUM

**BIOMAX**  
Genome Editing mit  
CRISPR-Cas9



*ENTNAHME EINER  
BAUMPROBE IM  
BRASILIANISCHEN  
REGENWALD*

Die tropischen Regenwälder beherbergen rund zwei Drittel aller bekannten Tier- und Pflanzenarten, und ihre Bedeutung für das Klima der gesamten Erde steht außer Frage. Dass sie uns darüber hinaus auch viel über kulturelle Aspekte vergangener Zeiten erzählen können, wurde dagegen bisher weitgehend vernachlässigt.

Die viele Jahrhunderte alten, riesigen Tropenbäume sind Zeitkapseln für den, der sie zu lesen weiß: Während ihrer Lebensspanne nehmen sie Kohlenstoff aus der Luft sowie Wasser und Mineralstoffe aus dem Boden auf und bauen sie in ihr Holz ein. Forschende der Max-Planck-Institute für Menschheitsgeschichte, Entwicklungsbiologie und Biogeochemie kombinieren moderne Analysemethoden wie Dendrochronologie, Radiokohlenstoffdatierung, Isotopen- und Genanalyse und können so Veränderungen in den Wachstumsbedingungen der Bäume rekonstruieren. Hier wird dazu gerade eine Probe aus einem mehrere Hundert Jahre alten Paranussbaum im Tefé-Nationalpark in Brasilien entnommen.

Mit den Untersuchungen lassen sich auch die Auswirkungen menschlicher Aktivitäten auf das Ökosystem des Waldes nachvollziehen. Denn ganz im Gegenteil zur landläufigen Meinung bewirtschaften die Völker des Regenwaldes diesen bereits seit rund 10 000 Jahren. Einschneidende Ereignisse wie Kriege und Kolonialismus haben ebenso ihre Spuren im Baumarchiv hinterlassen wie Konsumententscheidungen auf dem Weltmarkt, zum Beispiel für Kautschuk oder Edelhölzer.



# ORTE DER FORSCHUNG

---



7

FOTO: VICTOR L. CAETANO ANDRADE

FOTO: SHUTTERSTOCK



Wie die meisten Insekten leiden auch Bienen unter Pestiziden und Klimaveränderungen.

## INSEKTEN IM KLIMAWANDEL

Der menschliche Einfluss auf Klima und Ökosysteme wird immer deutlicher: Überall in Europa ist ein gravierender Rückgang der Insektenbiomasse zu beobachten. Während bestäubende Insektenarten vom Aussterben bedroht sind, breiten sich jedoch bestimmte Schädlinge und Krankheiten übertragende Arten immer weiter aus. Um die Wechselwirkungen zwischen Insekten, Klima und Menschen genauer zu untersuchen, bündeln das Max-Planck-Institut für chemische Ökologie, die Universität Lund und die Schwedische Universität für Agrarwissenschaften ihre Kräfte in einem neuen Zentrum, dem Max Planck Center on next Generation Insect Chemical Ecology. Gemeinsam wollen die Partner vor allem untersuchen, wie sich höhere Durchschnittstemperaturen, Treibhausgase und die Luftverschmutzung auf den Geruchssinn von Insekten auswirken und wie sich die Tiere an diese Veränderungen anpassen. Die Erkenntnisse können einen wichtigen Beitrag zur Lösung globaler Probleme in Zusammenhang mit der Klimakrise, der Welternährung und sogar der Bekämpfung von Krankheiten liefern. Denn die steigenden Temperaturen begünstigen auch die Ausbreitung von Infektionen, die von Insekten übertragen werden, wie das West-Nil-Fieber oder Malaria. Ein Ziel der Kooperation im Max Planck Center ist es daher, neue Methoden zur Bekämpfung solcher Erkrankungen zu entwickeln. Offiziell gestartet ist das Gemeinschaftsprojekt im Januar 2020 im schwedischen Alnarp.

[www.mpg.de/14398598](http://www.mpg.de/14398598)

## AUSGEZEICHNET ★

ERIN SCHUMAN

- 8 Erin Schuman, Direktorin am Max-Planck-Institut für Hirnforschung, erhält den Louis-Jeantet-Preis für Medizin 2020 für ihre Arbeit zur lokalen Proteinsynthese an Synapsen. Diese bestimmen als Kontaktstellen zwischen den Nervenzellen im Gehirn, wie gut die Zellen kommunizieren können. Wie Erin Schuman herausfand, werden viele Proteine, welche die Synapsen für die Kommunikation benötigen, lokal in der Nähe der Synapsen produziert, sodass sie zur richtigen Zeit am richtigen Ort zur Verfügung stehen. Durch diese Entdeckung lässt sich die Funktionsweise von Synapsen besser verstehen, ebenso Störungen in der neuronalen Entwicklung. Die Louis-Jeantet-Preise gehören mit 500 000 Euro zu den bestdotierten Auszeichnungen Europas für biomedizinische Forschung. Das Geld unterstützt die Preisträger bei ihren weiteren Arbeiten.



FOTO: MPI FÜR HIRNFORSCHUNG

SVANTE PÄÄBO

Der Japan-Preis 2020 geht an Svante Pääbo, Direktor am Max-Planck-Institut für evolutionäre Anthropologie. Er gilt als Begründer der Paläogenetik, einer Disziplin, die sich mit der Analyse genetischer Proben aus Fossilien und prähistorischen Funden befasst. Durch Vergleiche von DNA-Sequenzen heute lebender Menschen mit denen von Neandertalern und weiteren menschlichen Vorfahren erforscht Pääbo, welche genetischen Veränderungen im Laufe der Evolutionsgeschichte den modernen Menschen geprägt haben. Zu Pääbos großen wissenschaftlichen Erfolgen zählen die komplette Entschlüsselung der mitochondrialen DNA des Neandertalers 2008 sowie der Genomsequenz des Neandertalers. Der Japan-Preis wird gerne als japanischer Nobelpreis bezeichnet und ist mit 50 Millionen Yen (etwa 490 000 Euro) dotiert.



FOTO: KARSTEN MÖBIUS

# KURZ NOTIERT



## SPITZEN- FORSCHUNG IN POLEN

Das von der Max-Planck-Gesellschaft initiierte Dioscuri-Programm in Polen wird um drei Zentren erweitert. Der Mathematiker Pawel Dlotko, der Biologe Gracjan Michlewski und der Physiker Bartłomiej Waclaw werden die Zentren leiten und dort international wettbewerbsfähige und innovative Forschungsgruppen etablieren. Ziel des Dioscuri-Programms ist es, Forscherinnen und Forscher von international renommierten Stationen in Westeuropa und den USA zu gewinnen und beim Aufbau einer eigenen Forschungsgruppe in ihrer Heimat zu unterstützen. So trägt es dazu bei, das bestehende Leistungsfälle zwischen West- und Osteuropa zu überwinden. Die ersten zwei Dioscuri-Zentren haben 2019 ihre Arbeit aufgenommen.

[www.mpg.de/14308907](http://www.mpg.de/14308907)

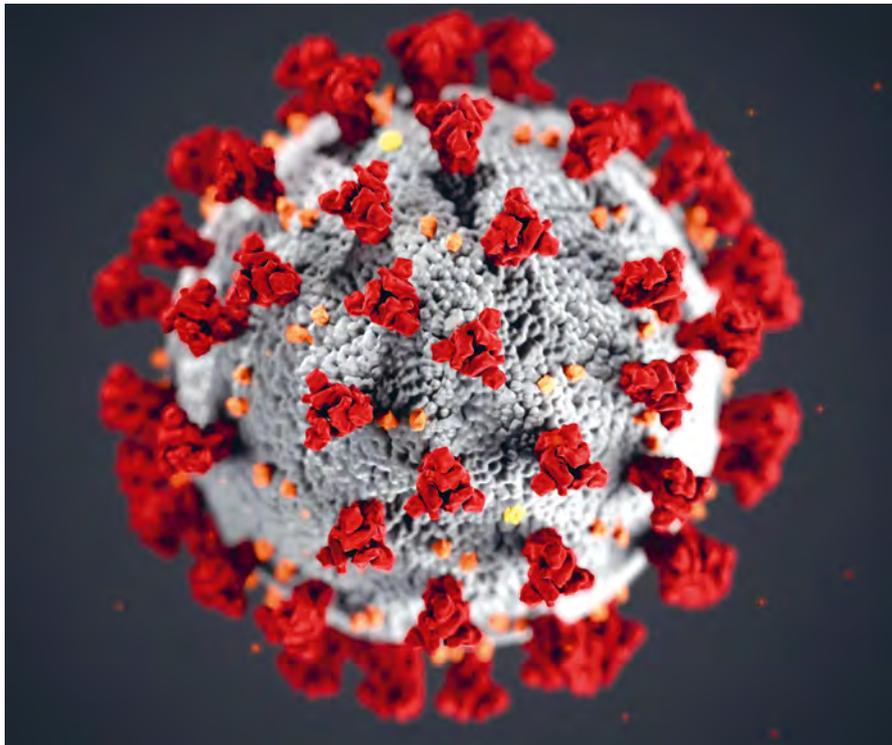


BILD: CDC/ ALISSA ECKERT, MS; DAN HIGGINS, MAMS

Wissenschaftler suchen nach einem Impfstoff gegen das Coronavirus, hier im 3-D-Modell.

## IMMUNSCHUB GEGEN CORONA

Forschende des Max-Planck-Instituts für Infektionsbiologie haben einen Impfstoffkandidaten gegen Tuberkulose entwickelt, der auch eine Infektion mit SARS-CoV-2 abmildern könnte. Der Stoff basiert auf dem Impfstoff BCG, der Anfang des 20. Jahrhunderts gegen Tuberkulose entdeckt wurde. Studien an Mäusen haben gezeigt, dass BCG die Folgen von Virusinfektionen der Atemwege abschwächen kann. So weisen an Grippe erkrankte Mäuse weniger Schädigungen an den Lungen auf, wenn sie zuvor mit BCG geimpft wurden. Zudem gibt es Hinweise, dass die Impfung das Immunsystem gegen Virusinfektionen aktiviert. Dadurch verringert sich die

Gefahr schwerer Krankheitsverläufe, und die Todesrate sinkt. Der bei Max-Planck neu entwickelte Tuberkulose-Impfstoff hat sich in den bisherigen klinischen Studien als gut verträglich und wirksamer als die Standardimpfung mit BCG erwiesen. Das lässt hoffen, dass der neue Impfstoff auch die Symptome einer SARS-CoV-2-Infektion besser eindämmen kann. Seine Wirksamkeit gegen Corona soll nun in einer groß angelegten Studie in deutschen Kliniken getestet werden. Als Beteiligte sind vor allem Beschäftigte im Gesundheitswesen und ältere Menschen vorgesehen, die besonders von der Erkrankung bedroht sind.

[www.mpg.de/14608782](http://www.mpg.de/14608782)

Querschnitt durch den Hippocampus einer Maus. Nach der Gabe von Erythropoietin weisen die Tiere mehr Nervenzellen in dieser für Lernen und Gedächtnis zentralen Gehirnregion auf.

## KÖRPEREIGENES DOPING FÜRS GEHIRN

10

Erythropoietin, kurz Epo, steigert als berüchtigtes Dopingmittel die körperliche Leistungsfähigkeit, es wirkt aber auch als Wachstumsfaktor für Nervenzellen. So verringert es nach einem Schlaganfall die Schäden im Gehirn. Auch Patienten, deren geistige Fähigkeiten durch eine Schizophrenie, Depression, bipolare Erkrankung oder multiple Sklerose eingeschränkt sind, werden mit Epo wieder leistungsfähiger. Forscher vom Max-Planck-Institut für experimentelle Medizin in Göttingen haben nun herausgefunden, wie die Substanz im Gehirn wirkt: Demnach lösen geistige Herausforderungen in den Nervenzellen des Gehirns einen leichten Sauerstoffmangel aus. Dadurch wird mehr Epo mitsamt seinen Rezeptoren produziert. Der Wachstumsfaktor steigert anschließend die Aktivität dieser Nervenzellen, bewirkt die Bildung neuer Nervenzellen aus benachbarten Vorläuferzellen und erhöht die Vernetzung der Neuronen. Eine Epo-Einnahme verstärkt diesen natürlichen Effekt: Die Versuchsergebnisse zeigen, dass erwachsene Mäuse nach der Gabe des Wachstumsfaktors 20 Prozent mehr Nervenzellen in der Pyramiden-schicht des Hippocampus bilden, einer für Lernen und Gedächtnis entscheidenden Hirnregion.

[www.mpg.de/14569809](http://www.mpg.de/14569809)

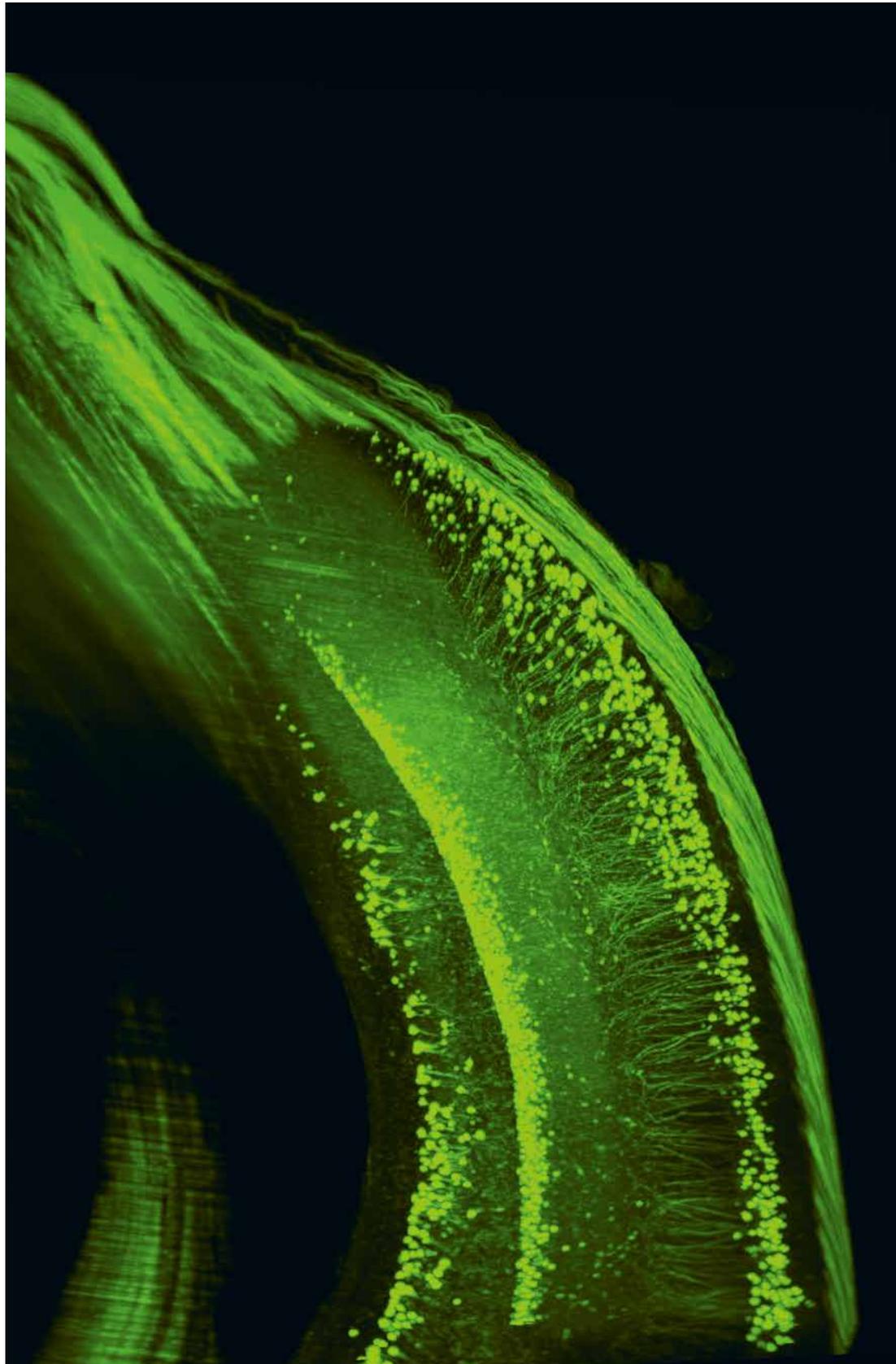


BILD: MPI FÜR PSYCHIATRIE

## DAS DENKEN DER ANDEREN

Um zu verstehen, was andere denken, und einzuschätzen, wie sie sich verhalten, entwickeln wir in der Kindheit die Fähigkeit, uns in die Perspektive anderer hineinzudenken. Bislang war die Forschung uneins darüber, ab welchem Alter Kinder diese Fähigkeit besitzen. Eine aktuelle Studie des Max-Planck-Instituts für Kognitions- und Neurowissenschaften zeigt, dass erst Vierjährige wirklich in der Lage sind zu verstehen, was andere denken, und deren Handlungen zu antizipieren. Wie die Forschenden mittels Eye-tracking beobachteten, können zwar schon jüngere Kinder die Handlungen einer Comicfigur vorhersehen. Werden sie aber danach gefragt, geben sie die falsche Antwort. Den Grund dafür fanden die Forschenden bei Messungen der Hirnaktivität: Bei den beiden Entscheidungsprozessen – der nonverbalen Variante, die sich im Blick äußert, und der verbalen in der Antwort – sind verschiedene Hirnstrukturen beteiligt. Die Hirnregionen, mit deren Hilfe wir wirklich verstehen, was andere denken, ist erst im Alter von etwa vier Jahren so ausgereift, dass wir das auch sprachlich ausdrücken können. In der frühen Kindheit gibt es aber eine andere Gehirnfunktion, die es ermöglicht, zumindest den Blickwinkel des anderen zu übernehmen.

[www.mpg.de/14559563](http://www.mpg.de/14559563)

## VON HIRTEN UND HELICES

„Die Anbetung der Hirten“ des italienischen Bildhauers Giuseppe Torretti lässt nicht nur Liebhaber des Barock staunen, sondern auch Chemiker. Denn ein durch Korrosion entstandenes Salz, das an dem restaurierten Marmorrelief knubbelige Ausblühungen bildet, kristallisiert in der gleichen Dreifachspirale wie das Protein Kollagen. Das haben Forschende am Stuttgarter Max-Planck-Institut für Festkörperforschung herausgefunden. An-

hand der genauen Strukturdaten des wasserhaltigen Calciumacetats können Restauratoren das gleiche Korrosionsprodukt auch an anderen Marmorarbeiten identifizieren und dann möglicherweise die Prozesse unterbinden, in denen die Ausblühungen entstehen. Die anorganischen Helices könnten sich aber auch als Vorlage verwenden lassen, um andere chemische Substanzen in diese Form zu bringen.

[www.mpg.de/14577597](http://www.mpg.de/14577597)

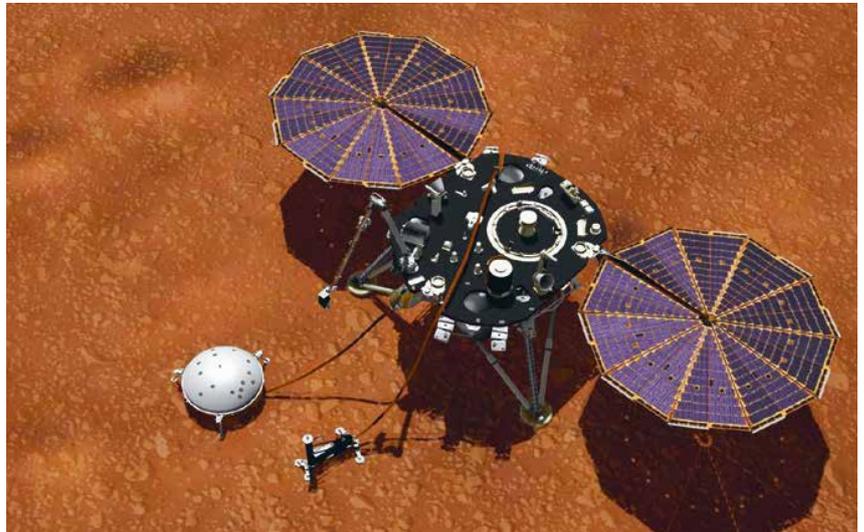


FOTO: NASA / JPL-CALTECH

Kundschafter auf dem Roten Planeten: InSight – hier eine Illustration der Sonde auf der Oberfläche – liefert wertvolle Einblicke in das Innenleben des Mars.

## DER MARS BEBT

Der Rote Planet ist durchaus unruhig. Nicht weniger als 174 Marsbeben hat das Seismometer der Sonde InSight in den ersten zehn Monaten seit seiner Inbetriebnahme Ende Februar 2019 gemessen. Das entspricht durchschnittlich etwas mehr als einem Beben alle zwei Tage. Die Daten, die Wissenschaftler unter Beteiligung des Max-Planck-Instituts für Sonnensystemforschung gewonnen haben, liefern den ersten umfassenden Beweis dafür, dass neben der Erde und dem Mond auch der Mars

seismisch aktiv ist. Allerdings sind die Erschütterungen auf unserem Nachbarn im All lange nicht so heftig wie auf der Erde: Keines der registrierten Beben erreichte eine Stärke von mehr als 4. Bei 150 Beben waren nur Wellen zu messen, die sich in der Kruste des Mars ausbreiteten. Hingegen durchliefen die restlichen 24 Beben den Gesteinsmantel des Mars und wiesen ähnliche Charakteristika auf wie irdische Beben.

[www.mpg.de/14506985](http://www.mpg.de/14506985)

11



FOTO: RÄTHIGEN FORSCHUNGLABOR, STAÄTLICHE MUSEEN ZU BERLIN – PREUSSISCHER KULTURBESTITZ

„Die Anbetung der Hirten“ überstand den 2. Weltkrieg nur in Fragmenten (bräunliche Teile), hier kombiniert mit einem Schwarz-Weiß-Foto des unversehrten Reliefs.

## HILFSBEREITE PAPAGEIEN

Papageien sind nicht nur außerordentlich intelligent, sie besitzen auch ein hohes Maß an Einfühlungsvermögen und Hilfsbereitschaft. Dies ist das Ergebnis von Studien, die Forscherinnen an der Außenstelle Teneriffa des Max-Planck-Instituts für Ornithologie in Seewiesen an Graupapageien durchgeführt haben. In den Tests verteilten die Forschenden an einige Vögel aus einer Gruppe Metallmarken, die diese gegen Futter eintauschen konnten. Dabei verhielten sich Papageien, die eine Marke bekommen hatten, in den meisten Fällen ausgesprochen selbstlos und reichten die Marke mit dem Schnabel an ihren Nachbarn weiter, wenn dieser keine Marke erhielt. Papageien erkennen also offenbar, wann ein Artgenosse von ihrer Hilfe profitieren kann und wann nicht. In weiteren Untersuchungen beobachteten die Forschenden zudem, dass Graupapageien nicht neidisch sind, wenn ein Artgenosse für die gleiche Leistung höher belohnt wird oder für die gleiche Belohnung weniger hart arbeiten muss. Möglicherweise liegt dieses Verhalten nicht an einem mangelnden Sinn für Fairness, sondern an einer ausgeprägten Paarbindung. Anders als Schimpansen, die eine solche Ungleichbehandlung nicht klaglos hinnehmen, leben Graupapageien in der Regel ein Leben lang mit einem Partner zusammen. Tiere mit dauerhaften Partnerschaften können wahrscheinlich toleranter gegenüber Ungleichheit sein als nicht monogame Arten, da sich die Großzügigkeit auf Dauer trotzdem auszahlt.

[www.mpg.de/14319760](http://www.mpg.de/14319760)

In den Verhaltensexperimenten erhalten die Papageien Metallmarken, die sie dann gegen Futter eintauschen können.

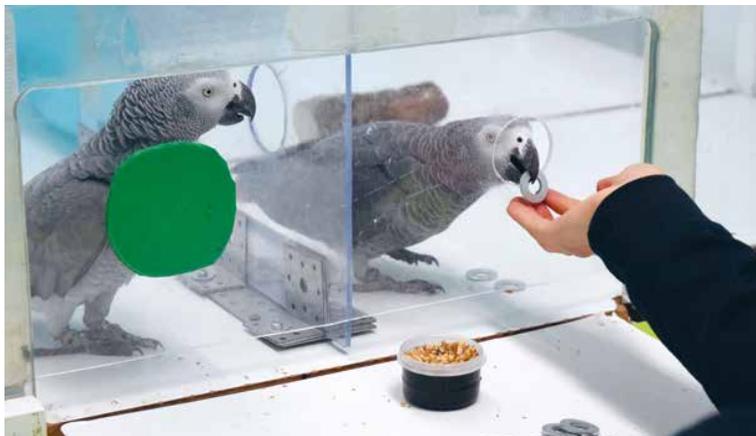


FOTO: COMPARATIVE COGNITION GROUP

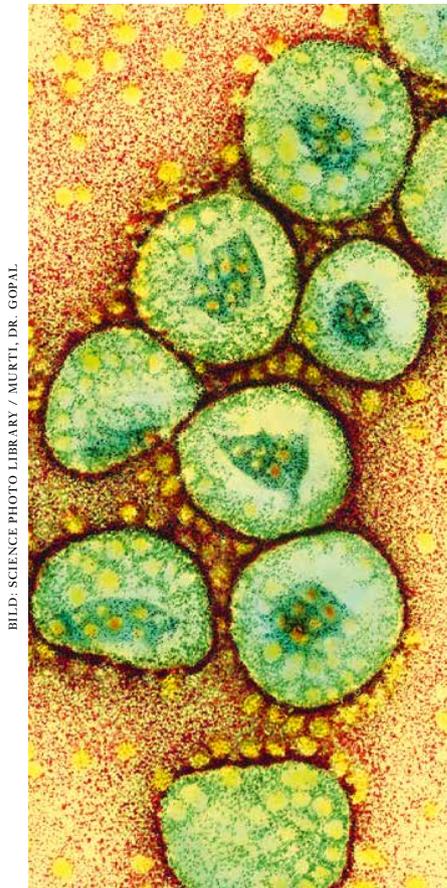


BILD: SCIENCE PHOTO LIBRARY / MURTI, DR. GOPAL

Elektronenmikroskop-Aufnahme von Coronaviren.

## MÜLLABFUHR FÜR CORONAVIREN

Wenn Zellen gestresst sind, entsorgen sie verstärkt überflüssige oder beschädigte Zellteile. Durch die zelleigene Müllabfuhr können sie auch Viren loswerden. Ein Team des Max-Planck-Instituts für Psychiatrie und des Uniklinikums Bonn ist auf ein Protein für die Beseitigung von Abfallstoffen gestoßen, das durch bereits auf dem Markt befindliche Antibiotika und Medikamente gegen Darmwürmer verstärkt Viren entsorgt. Zusammen mit Wissenschaftlern der Charité in Berlin haben die Forscher entdeckt, dass die Wirkstoffe die Vermehrung des MERS-Coronavirus, eines Verwandten des neuen Coronavirus SARS-CoV-2, eindämmen können. Das MERS-Virus kann beim Menschen eine schwere Lungenentzündung auslösen, die bei jedem dritten Infizierten tödlich verläuft. Gegen den Erreger gibt es wie gegen SARS-CoV-2 bislang weder Medikamente noch einen Impfstoff. Ob die Wirkstoffe die Beseitigung von Coronaviren im Menschen ankurbeln, muss sich erst noch zeigen. Unterdessen untersuchen auch Wissenschaftler am Lead Discovery Center in Dortmund, einer Ausgründung der Max-Planck-Gesellschaft, andere Substanzen, die die Entsorgungsmaschinerie ankurbeln und zur Behandlung eingesetzt werden können.

[www.mpg.de/14642215](http://www.mpg.de/14642215)



FOTO: WIM HOEK / SHUTTERSTOCK

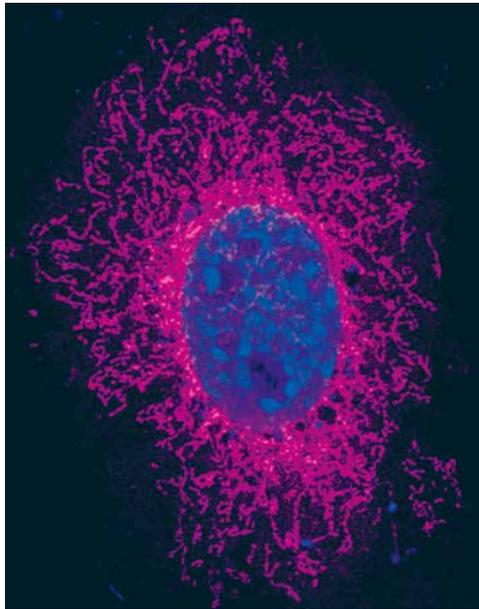
Weibliche Mönchsgrasmücke. Die Art ist in ihrem Zugverhalten sehr variabel: Je nach Herkunft fliegen die Vögel unterschiedlich weit in ihre Überwinterungsgebiete. Manche ziehen auch überhaupt nicht.

## VÖGEL ZIEHEN BEI JEDEM KLIMA

Kuckucke aus Kamtschatka fliegen zum Überwintern nach Angola – eine Strecke von etwa 14000 Kilometern. Wohin und wie weit die Vögel fliegen, wird vor allem vom Klima bestimmt. Dieses hat sich jedoch über die letzten 50000 Jahre immer wieder stark gewandelt. Forscherinnen und Forscher des Max Planck - Yale Center for Biodiversity Movement and Global Change haben am Computer modelliert, wie sich der Vogelzug auf der Erde während dieser Zeit entwickelt hat. Die Simulationen zeigen, dass Vögel auch während der letzten Eiszeit zwischen Sommer- und Wintergebieten hin- und herpendelten. Wie Zugvögel auf Klimaveränderungen reagieren, unterscheidet sich der Berechnung zufolge allerdings regional: So gab es in Europa, Asien und Afrika während der letzten Eiszeit etwa gleich viele Zugvogel-Arten wie heute. Auch die Flugdistanzen blie-

ben im Mittel relativ konstant. Anders in Nord- und Südamerika: Dort gab es während der Eiszeit 20 Prozent weniger Zugvogel-Arten. Viele waren während der Eiszeit offenbar Standvögel und wurden erst danach Zugvögel. Die Zugstrecken waren zudem 40 Prozent kürzer als heute. Der Vogelzug hat also selbst starke Klimaveränderungen überdauert. Wie sich der menschengemachte Klimawandel auf den Zug der Vögel auswirkt, wissen die Forscher noch nicht. Er verläuft schneller als frühere Klimaveränderungen, zudem verschlechtern sich die Lebensbedingungen für Vögel in vielerlei Hinsicht, zum Beispiel durch den Verlust von Lebensraum und Nahrung. Das Computermodell kann nun helfen, die Folgen dieser Veränderungen auf den Vogelzug vorherzusagen.

[www.mpg.de/14473814](http://www.mpg.de/14473814)



Das ARHGAP11B-Protein (magenta) in einer basalen Hirnstammzelle (blau: Zellkern).

## KREBSARTIGER STOFFWECHSEL LÄSST GEHIRN WACHSEN

Die Größe des menschlichen Gehirns hat im Laufe der Evolution erheblich zugenommen. Wissenschaftler am Max-Planck-Institut für molekulare Zellbiologie und Genetik in Dresden haben herausgefunden, dass sich die sogenannten basalen Hirnstammzellen dank eines als ARHGAP11B bezeichneten Gens vermehren können. Dadurch werden mehr Nervenzellen gebildet. Nun wissen die Forscher auch, wie das Gen funktioniert: Zusammen mit einem weiteren Protein schließt es eine Pore in der Mitochondrienmembran der Stammzellen und verhindert so, dass Kalzium aus den Or-

ganellen strömt. Dank der höheren Kalziumkonzentration können die Mitochondrien über den Stoffwechselweg der Glutaminolyse Energie erzeugen und die Hirnstammzellen dazu bringen, sich stärker zu vermehren. Eine hohe Glutaminolyse-Rate ist unter anderem typisch für Krebszellen. Das menschliche Gehirn ist im Laufe der Evolution also offenbar auch deshalb so stark gewachsen, weil sich der menschliche Stoffwechsel so veränderte, dass er im Gehirn für einen begrenzten Zeitraum auf einen krebstartigen Stoffwechsel umschalten kann.

[www.mpg.de/14323143](http://www.mpg.de/14323143)

## FLOTTE MIKROSCHWIMMER

Ein Mikroschwimmer aus dem Max-Planck-Institut für Intelligente Systeme in Stuttgart überholt seine natürlichen Vorbilder. Ein Team des Instituts hat einen Mikroroboter entwickelt, der deutlich schneller schwimmt als Bakterien oder Algen. Der winzige Schwimmkörper hat die Form einer hohlen Halbkugel mit einer kleinen Öffnung am Boden. Sobald er in eine Flüssigkeit eintaucht,

bildet sich in seinem Hohlraum eine Luftblase. Diese bringen die Forschenden mit Ultraschall zum Pulsieren, sodass der Mikroschwimmer durch den Rückstoß vorwärtsgetrieben wird. Solche akustisch angetriebenen Mini-U-Boote könnten künftig etwa in minimal-invasiven medizinischen Behandlungen zum Einsatz kommen.

[www.mpg.de/14420595](http://www.mpg.de/14420595)

14

## FEEDBACK, ABER RICHTIG

Feedback gilt als wichtiger Bestandteil einer erfolgreichen Unternehmenskultur. Richtig eingesetzt, kann es die Arbeitsleistung und die Zusammenarbeit im Team stärken. In einem Experiment haben Wissenschaftler des Max-Planck-Instituts für Bildungsforschung untersucht, welchen Einfluss die Art des Feedbacks auf das weitere Verhalten hat. Am besten für die Zusammenarbeit war Feedback, das den Teilnehmenden die Leistung der Gruppe insgesamt widerspiegelte. Ranking-Feedback, also Informationen, welche die eigene Leistung im Vergleich zu den anderen Teilnehmenden einstuften, führte hingegen dazu, dass sich die Probanden immer stärker als Konkurrenten sahen. Das ging so weit, dass sie ihr Handeln nur noch darauf ausrichteten, andere auszusteichen, sogar wenn sie damit der Gruppe und so letztlich auch sich selbst schaden.

[www.mpg.de/14434978](http://www.mpg.de/14434978)



## RAUCHEN OHNE QUALM

Vor passivem Rauchen schützt selbst das Rauchverbot in öffentlichen Einrichtungen nicht. Mit Schadstoffen wie etwa Nikotin und Feinstaub aus dem Zigarettenrauch ist die Luft in Räumen auch belastet, wenn sich darin Personen aufhalten oder aufgehalten haben, die vorher woanders geraucht haben. Denn deren Kleidung, Haut und Haare verströmen die Stoffe. Das indirekte Passivrauchen haben Forschende des Max-Planck-Instituts für Chemie und der Yale University jetzt erstmals mit Messungen bestätigt. Sie protokollierten in einem Kinosaal über mehrere Tage die Konzentra-

tionen von 35 flüchtigen organischen Verbindungen, die im Zigarettenrauch enthalten sind. Demnach atmen Zuschauer, die eine Stunde lang in dem Kinosaal sitzen, Schadstoffmengen von bis zu zehn passiv gerauchten Zigaretten ein. Wie hoch die Belastung durch die einzelnen Schadstoffe ist, hängt unter anderem von deren Flüchtigkeit ab. Im Fall des krebserregenden Benzols entsprach sie in einer Stunde zum Beispiel dem Qualm von acht Zigaretten. In weniger gut belüfteten Räumen als einem Kinosaal dürfte die Belastung noch größer sein.

[www.mpg.de/14558058](http://www.mpg.de/14558058)

# EXOT MIT ELF KILOMETER RADIUS

Neutronensterne sind kompakte, extrem dichte Überreste von Supernova-Explosionen. Gelegentlich verschmelzen zwei dieser exotischen stellaren Kugeln – so wie beim Ereignis GW170817, das Astronomen im August 2017 durch Gravitationswellen und im gesamten elektromagnetischen Spektrum beobachtet haben. Aus den Daten zu GW170817 und aus theoretischen Überlegungen ermittelten die Forscher um Collin Capano aus dem Max-Planck-Institut für Gravitationsphysik den Radius typischer Neutronensterne, wie sie bei GW170817 kollidierten. Die Wissenschaftler wählten dabei Sze-

narien aus, die zum einen zu den Gravitationswellen von GW170817 passten und die zum anderen bei der Verschmelzung einen kurzlebigen hypermassereichen Neutronenstern erzeugen. Drittens mussten die in Betracht gezogenen Modelle mit bekannten Obergrenzen der Masse übereinstimmen, welche die Astrophysiker aus elektromagnetischen Beobachtungen der Quelle von GW170817 ermittelt hatten. Das Ergebnis: Ein typischer Neutronenstern mit der 1,4-fachen Masse unserer Sonne hat einen Radius von etwa elf Kilometern.

[www.mpg.de/14573502](http://www.mpg.de/14573502)



BILD: ESO / L. CALÇADA

Wunderkugel: Neutronensterne besitzen eine größere Masse als die Sonne, in ihnen ist die Materie aber unvorstellbar dicht gepackt. Daher haben sie typischerweise einen Radius von nur elf Kilometern.

## DIE ERSTEN SALMONELLEN

Der Beginn der Landwirtschaft war ein Meilenstein in der Geschichte der Menschheit. Schon lange wird vermutet, dass durch den engen Kontakt mit Tieren viele neue Krankheiten beim Menschen, sogenannte Zoonosen, aufkamen. Ein Team um Wissenschaftler des Max-Planck-Instituts für Menschheitsgeschichte hat nun Bakterien aus bis zu 6500 Jahre alten Skeletten von Landwirten untersucht und damit neues Licht in die Entwicklung von Zoonosen gebracht. Die Forschenden rekonstru-

ierten acht alte Genome des Krankheitserregers *Salmonella enterica*. Ihre Analyse ergab, dass sie Vorläufer des Bakterienstammes Paratyphi C waren – ein Stamm, der inzwischen ausschließlich Menschen infiziert, aber nur selten vorkommt. Die historischen Salmonellen hingegen steckten wahrscheinlich Tiere genauso an wie Menschen. Das legt nahe, dass die bäuerliche Lebensweise tatsächlich die Entstehung neuer Krankheiten begünstigte.

[www.mpg.de/14506291](http://www.mpg.de/14506291)

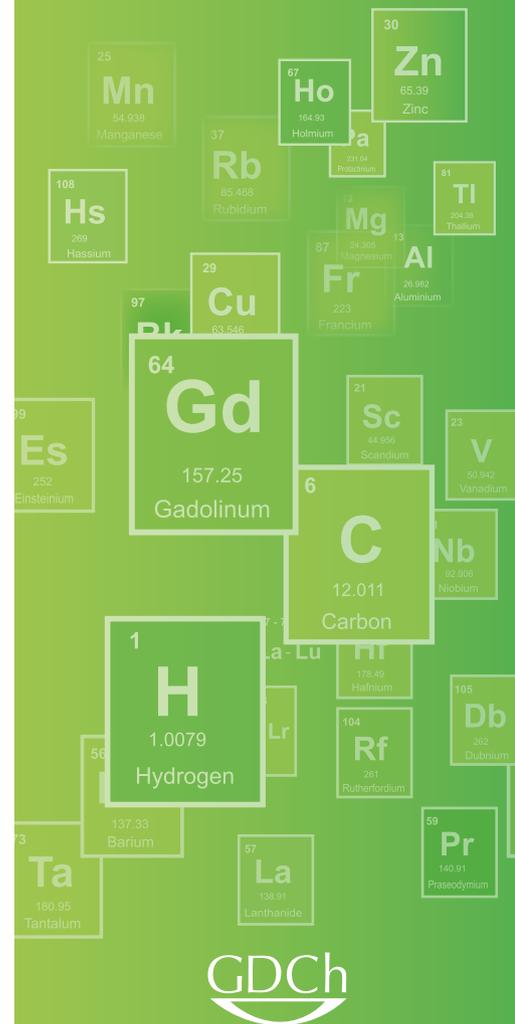
D A S  
K A R R I E R E  
P O R T A L

## für Chemie und Life Sciences

Von Chemikern für Chemiker – Nutzen Sie das Netzwerk der GDCh:

- ➔ Stellenmarkt – Online und in den *Nachrichten aus der Chemie*
- ➔ CheMento – das Mentoring Programm der GDCh für chemische Nachwuchskräfte
- ➔ Publikationen rund um die Karriere
- ➔ Bewerbungsseminare und -workshops
- ➔ Jobbörsen und Vorträge

ANZEIGE



GDCh

GESELLSCHAFT DEUTSCHER CHEMIKER

[www.gdch.de/karriere](http://www.gdch.de/karriere)

---

# ZWISCHEN SCHULD, ANGST UND HOFFNUNG

Die Diagnose Krebs ist ein Schock. Wohl keine andere körperliche Erkrankung belastet die Betroffenen so sehr. Die Ursache der Krankheit wurde lange Zeit in der Persönlichkeit der Patienten gesucht. Ein fataler Irrtum, wie unsere Autorin anhand der historischen Entwicklung zeigt.

16

Möglicherweise ist Ihnen das auch schon passiert. Ein guter Freund sagt unvermittelt: „Ich habe Krebs.“ Sie wissen im ersten Moment nicht, was Sie sagen sollen. Sie möchten ihn aufmuntern, optimistisch sein. Und da haben Sie es auch schon gesagt, bevor Sie recht darüber nachgedacht haben: „Du wirst das schaffen. Du bist doch so ein positiv denkender Mensch.“ Und wenn er es nicht „schafft“? Was haben Sie da eigentlich gesagt? Wenn Ihr Freund sterben sollte, liegt es dann daran, dass er nicht genug gekämpft, nicht ausreichend gehofft hat, seiner Krankheit gegenüber nicht positiv genug eingestellt war?

Psychosomatik, Psychoonkologie und Psychoneuroimmunologie beschäftigen sich seit vielen Jahren mit der Frage, inwiefern die Psyche Einfluss auf den Körper hat. Die bisherigen Antworten aus der Forschung sehen komplexe und keineswegs eindeutige Zusammenhänge zwischen Körper und Gefühl bei der Entstehung und Heilung von Krankheiten. Dennoch begegnet man, wann immer das Gespräch im Alltag auf Krebs kommt, Einschätzungen dieser Art: Unterdrückte Gefühle machen Krebs, Stress und Angst schaden der Heilung, Hoffnung hilft. Solche Annahmen können dazu beitragen, einer Krebserkrankung aktiv zu begegnen – sie können aber auch als Schuldzuweisung an den Kranken verstanden werden und eine schwere Bürde darstellen. Wie stark sich hier wissenschaftliche Forschung und gesellschaftliche Wahrnehmung gegenseitig beeinflussen und den Umgang mit an Krebs erkrankten Menschen prägen, zeigt ein Blick in die Geschichte psychosomatischer Modelle der Krebsentstehung.

→

# ZUR SACHE

---

## BETTINA HITZER

Bettina Hitzer hat in Geschichte promoviert und war von 2014 bis Januar 2020 Leiterin einer Minerva-Forschungsgruppe am Max-Planck-Institut für Bildungsforschung. Im Jahr 2017 habilitierte sie sich an der Freien Universität Berlin, wo sie auch als Privatdozentin tätig ist. Für ihre vielseitigen Forschungsarbeiten wurde sie 2016 mit dem Walter de Gruyter-Preis der Berlin-Brandenburgischen Akademie der Wissenschaften ausgezeichnet. Bettina Hitzer lebt mit ihrer Familie in Berlin.



ILLUSTRATION: SOPHIE KETTERER

---

## DIE STUDIEN THEMATI- SIERTEN DAS VERHÄLTNIS DER PATIENTIN ZU IHRER SEXUALITÄT

Bereits in der Antike wurde Melancholie mit der Entstehung von Krebs in Verbindung gebracht. Allerdings gerieten solche Vermutungen im Laufe des 19. Jahrhunderts immer mehr ins Abseits. Spätestens mit Rudolf Virchows *Zellulärpathologie* (1858) wurde Krebs als Krankheit verstanden, die auf der zellulären Ebene ihren Ursprung nimmt – dass Gefühle auf die nun im Mikroskop erkennbaren Zellen einen Einfluss haben könnten, erschien ausgeschlossen. Trotzdem haben offenbar praktizierende Ärzte (und bald auch Ärztinnen) einen solchen Zusammenhang nicht ad acta gelegt. Ratgeber für Ärzte warnten immer wieder davor, den Patienten eine Krebsdiagnose mitzuteilen, weil eine solche Mitteilung sie in tiefe Hoffnungslosigkeit und Verzweiflung stürzen würde. Dies sei auch medizinisch schädlich, da die dadurch ausgelösten Angstgefühle die ohnehin geringen Heilungschancen vermindern würden.

Die körperlichen Effekte von Angst zogen auch die Aufmerksamkeit der Psychosomatik auf sich, die sich Anfang des 20. Jahrhunderts in der Auseinandersetzung mit der gerade erst entstandenen Psychoanalyse neu formierte. Angst firmierte als Krankheitsursache Nummer eins. Die meisten Psychosomatiker nahmen allerdings an, dass nur Krankheiten, die auf funktionellen, später chronifizierten Störungen beruhen, durch Angst entstehen. Viktor von Weizsäcker, einer der Gründungsväter der deutschen Psychosomatik, gab noch 1947 die Mehrheitsmeinung seiner Fachkollegen wieder, als er konstatierte, im Falle von Krebs scheitere eine psychosomatische Erklärung am „Granit des materiellen Vorganges“. Diese änderte sich jedoch schon bald nach Ende des Zweiten Weltkrieges. Verantwortlich dafür war ein komplexes Faktorenbündel.

So ging die experimentelle Krebsforschung der 1930er- und 1940er-Jahre neue Wege und konzentrierte sich zunehmend auf physiologische Vorgänge. Es wurde nicht mehr nach der *einen* Krebsursache gefahndet, sondern die Krebsentstehung als multifaktorielles Geschehen verstanden. Dass auch die Psyche daran beteiligt sein könnte, schien nun besser vorstellbar, zumal die Laborforschung und die konventionellen Therapien (Operation und Bestrahlung) bis zu diesem Zeitpunkt die Heilungschancen von Krebskranken kaum erhöht hatten.

Bis Ende der 1930er-Jahre hatte sich die Psychosomatik in den USA so weit etabliert, dass sie Geltung als vollwertige medizinische Disziplin beanspruchte. Sie stand in enger Verbindung mit der Psychiatrie und bediente sich auf ihrem Weg zur wissenschaftlichen Anerkennung frühzeitig psychometrischer Verfahren. Dazu gehörten Persönlichkeitstests wie der nach seinem Schweizer Erfinder benannte Rorschachtest, der Ende der 1930er-Jahre gerade seinen kometenhaften Aufstieg zum jahrzehntelang am häufigsten benutzten psychologischen Testverfahren begann. Bei diesem Test müssen die Probanden benennen, welche Lebewesen oder Dinge sie in einer Reihe von Tintenklecksbildern erkennen. Dieser Test

## GAB ES NICHT AUFFÄLLIGE PARALLELEN ZWISCHEN DEM SPIESSBÜRGER UND DER KREBSPERSÖN- LICHKEIT?

wurde zu Beginn der 1950er-Jahre auch Krebspatienten und -patientinnen vorgelegt. Ziel war es zu ergründen, ob spezifische Persönlichkeitszüge oder -konflikte als Krebsursache infrage kamen.

Anfangs konzentrierten sich diese Studien fast ausschließlich auf Krebspatientinnen mit Brust- oder Gebärmutterhalskrebs. Begründet wurde die Auswahl mit dem Verweis darauf, dass dies die häufigsten Krebserkrankungen amerikanischer Frauen waren. Aber warum wurden nicht auch Männer mit Magen- oder Lungenkrebs untersucht – die unter Männern damals am weitesten verbreiteten Krebserkrankungen? Dass hier gesellschaftliche Auseinandersetzungen über die Rolle der Frau das Studiendesign beeinflussten, ist offenkundig. Und tatsächlich thematisierten die Studienergebnisse überwiegend zwei Aspekte der Persönlichkeit: die Beziehung einer Patientin zu ihrer Mutter und ihrer eigenen Mütterlichkeit sowie ihr Verhältnis zur eigenen Sexualität. Ebendiese beiden Aspekte von Weiblichkeit waren zeitgenössisch hoch umstritten und im Wandel begriffen.

Im Zeichen der Bindungspsychologie der frühen Nachkriegszeit wurde in den USA die gefühlskalte, bindungsunfähige oder dem Kind in ambivalenter Weise zugewandte Mutter problematisiert. Dies traf sowohl für die Diskussion um Schizophrenie als auch für die psychosomatische Krebsforschung zu. In diesem Sinne wurde Krebs oft auch als eine Form der Organpsychose verstanden, das heißt als eine ins Körperliche verlagerte pathologische Parallelentwicklung zur Schizophrenie. Eine gefühlskalte Mutter prägte – so die Annahme – den Umgang der Töchter mit Gefühlen. Die Töchter lernten nicht, unangenehme und sozial wenig akzeptierte Gefühle wahrzunehmen und auszudrücken. Sie „funktionierten“ um den Preis der Verdrängung und Selbstentfremdung, latent depressiv, aber nicht in der Lage, mit späteren Verlusterfahrungen umzugehen.

Dieses Persönlichkeitsbild galt zunächst als (eine) spezifische Ursache für Brust- und Gebärmutterhalskrebskrankungen. Doch gegen Ende der 1950er-Jahre wurden auch Frauen mit anderen Krebserkrankungen sowie männliche Krebspatienten in Persönlichkeitsstudien einbezogen. Die Idee einer für alle Krebserkrankungen ursächlichen oder disponierenden Persönlichkeitsstruktur begann Gestalt anzunehmen. Sie verbreitete sich umso mehr, als nun auch laborexperimentelle Studien als Argument für die Existenz einer Krebspersönlichkeit ins Feld geführt werden konnten.

Voraussetzung war der Siegeszug des Stressbegriffs um die Mitte des 20. Jahrhunderts. Der Begriff stammt ursprünglich aus der Physiologie, wurde nun aber auch als psychologisches Phänomen begriffen. Nun ließ sich im Tierexperiment erforschen, ob durch frühe Separation von den Muttertieren emotional vernachlässigte oder durch Elektroschocks misshandelte Ratten tumoranfälliger waren als ihre weniger gestressten Artgenossen. Mehr noch: Psychosomatische Forschung ließ sich mit der



---

**RATGEBER  
EMPFEHLEN,  
DIE DIAGNOSE  
ALS WENDE-  
PUNKT UND  
NEUBEGINN ZU  
BEGREIFEN**

Erforschung karzinogener Substanzen verbinden. Waren gut umsorgte Ratten oder Mäuse vielleicht weniger anfällig für die karzinogene Wirkung von Teer als verängstigte und isoliert gehaltene Versuchstiere? Manche Testreihen schienen solche Annahmen zu rechtfertigen und wurden als weiterer wissenschaftlicher Beweis für die Ergebnisse der psychosomatischen Krebsforschung herangezogen.

Diese Resultate, verdichtet und vereinfacht zur Idee einer Krebspersönlichkeit, stießen Ende der 1960er-Jahre auf eine erstaunlich große mediale Resonanz. Sie wurden in den Kreisen der Studentenbewegung aufgegriffen und politisiert. In der Bundesrepublik wurde am Modell der Krebspersönlichkeit exemplarisch diskutiert, ob bestimmte Gefühlshaltungen und Beziehungsformen pathologisch seien – und zwar sowohl auf individueller als auch auf gesellschaftlicher Ebene. Gab es nicht auffällige Parallelen zwischen dem Spießbürger und der Krebspersönlichkeit: die freundliche Fassade, hinter der negative Gefühle versteckt und verdrängt wurden, die im Namen der Wohlanständigkeit vollzogene Selbstentfremdung, Konfliktscheu und damit einhergehende Autoritätshörigkeit?

Solche Fragen stellte sich der Zürcher Industriellensohn Fritz Angst, der unter dem Pseudonym Fritz Zorn die Autobiografie *Mars* publizierte, eines der Kultbücher der späten 1970er- und der 1980er-Jahre. Er verstand seine Krebserkrankung als Folge seiner vielen verschluckten Tränen, so wie es ihm seine bürgerlich-kalte Erziehung abverlangt habe. Insofern – und das war eine neue Wendung – sei der Krebs auch etwas Positives, ein Weckruf, der ihm die Krankheit seiner Seele bewusst gemacht habe. Darum eröffne die Krebsdiagnose die Möglichkeit, sein Leben radikal umzugestalten, es überhaupt erst richtig und „authentisch“ zu leben – selbst wenn ihm dafür nur kurze Zeit bliebe.

Fritz Angst-Zorn starb im November 1976, kurz bevor sein Buch veröffentlicht wurde. Seine Deutung der Krebskrankheit wurde von vielen geteilt. Immer zahlreicher wurden die Ratgeberbücher, die die Diagnose Krebs als Wendepunkt und Neubeginn eines wahrhaftigeren Lebens begriffen. Ein veränderter Umgang mit sich selbst sollte aber auch größere Chancen auf Heilung versprechen.

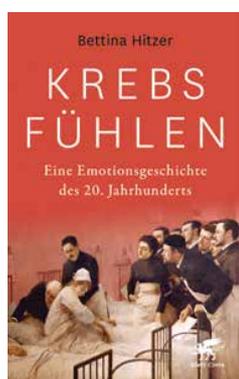
Doch solche psychosomatischen Deutungen der Krebskrankheit blieben nicht unwidersprochen. Weite Verbreitung fand die pointierte Kritik der amerikanischen Intellektuellen Susan Sontag. Als ehemalige Brustkrebspatientin verurteilte Sontag psychosomatische Krankheitsdeutungen, weil sie damit eine Schuldzuweisung an die Adresse der Erkrankten einhergehen sah. Als ihr Essay *Illness as Metaphor* 1978 erschien, war das Modell Krebspersönlichkeit allerdings bereits innerhalb der Psychosomatik umstritten. Welchen Aufschluss über die ursprüngliche Persönlichkeitsstruktur konnten Studien geben, deren Teilnehmerinnen nicht nur den

Schock einer Krebsdiagnose erlebt hatten, sondern schwerkrank waren und unter dem Einfluss von Schmerzmitteln standen, so lautete etwa ein Vorwurf.

Trotz methodischer Innovationen ließen sich viele Einwände nicht überzeugend ausräumen, sodass immer mehr Psychosomatiker davon absahen, nach krankheitsverursachenden Persönlichkeitsfaktoren zu suchen. Die professionelle Aufmerksamkeit richtete sich stattdessen auf die psychischen Begleit- und Folgeerscheinungen einer Krebserkrankung. Diese Fragen gewannen mit der in den 1970er-Jahren etablierten Chemotherapie an Gewicht.

Anders als Operation und Bestrahlung dauerte diese Behandlung Wochen oder Monate. Damit die Patientinnen und Patienten die schwer erträglichen Nebenwirkungen überhaupt durchstanden und die Therapie nicht abbrachen, erschien es nun auch Mediziner\*innen, die mit Psychosomatik zuvor wenig anzufangen wussten, sinnvoll, psychosoziale Unterstützung zu organisieren. So entstand die Psychoonkologie mit dem Ziel, Wohlbefinden und Lebensqualität von Patientinnen und Patienten zu verbessern und dadurch vielleicht auch die Heilungschancen zu steigern. In der Bevölkerung ist die Idee der „Krebspersönlichkeit“ jedoch nach wie vor verbreitet und trägt – oft unerkannt – das „Gepäck“ der hier erzählten Geschichte mit sich.

21



#### DAS BUCH

Bettina Hitzer  
**Krebs fühlen**  
 Eine Emotionsgeschichte des  
 20. Jahrhunderts  
 Klett-Cotta, Stuttgart 2020  
 540 Seiten, 28,00 Euro

**Ausgezeichnet mit  
 dem Preis der  
 Leipziger Buchmesse**

In der medizinischen Forschung stellt die in den 1970er-Jahren entstandene Psychoneuroimmunologie die Frage nach der Rolle der Psyche in neuer Weise. Es geht darum herauszufinden, wie das Zusammenspiel zwischen Psyche, Nervensystem und Immunsystem(en) funktioniert. Dass solche Zusammenhänge den Verlauf – möglicherweise sogar die Entstehung – von Krebserkrankungen beeinflussen können, erscheint denkbar.

Dieser Ansatz trifft sich hier mit der allgemeinen Krebsforschung, die derzeit intensiv untersucht, wie das körpereigene Immunsystem für die Therapie von Krebserkrankungen gezielt aktiviert oder durch die Gabe spezifischer Antikörper ergänzt werden kann. Erste Medikamente dieser Art sind bereits zugelassen worden. Ob dieser Weg langfristig Erfolg haben wird, ist noch vollkommen offen. Doch dies ist keine Frage, die die Geschichte beantworten kann. Aus ihr lässt sich vielmehr lernen, wie gesellschaftliche Diskussionen, Körper- und Rollenbilder

die Forschung beeinflussen und wie die von der Medizin entworfenen Krankheitskonzepte wiederum nicht nur Therapien hervorbringen, sondern auch die Wahrnehmung von und den Umgang mit kranken Menschen weitreichend prägen. ←

# IM FOKUS

---

## WIRTSCHAFT AUF DEM GRÜNEN ZWEIG

**22** | Sprit aus Stiel und Stängel

**30** | Pflanzen als Bioreaktoren

**38** | Eine Inventur des fossilen Zeitalters

Futter für Teller und Tank: Während die Körner von Gerste und anderen Getreidesorten zu Nahrungsmitteln verarbeitet werden, lassen sich aus dem Stroh Biokraftstoffe der zweiten Generation gewinnen.

FOTO: ISTOCK



# SPRIT AUS STIEL UND STÄNGEL

*TEXT: RALPH DIERMANN*

23

Biokraftstoffe der zweiten Generation könnten den Tank-Teller-Konflikt lösen. Denn für sie werden nicht eigens Energiepflanzen auf Ackerflächen angebaut, die dann nicht mehr für die Nahrungsmittelproduktion verfügbar sind. Weltweit arbeiten Forschende, unter ihnen auch Ferdi Schüth, Direktor am Max-Planck-Institut für Kohlenforschung, und Walter Leitner, Direktor am Max-Planck-Institut für chemische Energiekonversion, daran, Biotreibstoffe wirtschaftlich konkurrenzfähig zu machen – und emissionsärmer.

Millionen Jahre hat die Natur gebraucht, um den Rohstoff zu schaffen, der uns eine nahezu grenzenlose Mobilität ermöglicht – Erdöl, entstanden aus abgestorbenen Meeresorganismen, die unter Sedimentgestein begraben wurden. Dort waren sie über einen sehr langen Zeitraum hohem Druck und hoher Temperatur ausgesetzt. Kraftstoffe wie Benzin oder Diesel sind also ein Gruß aus der fernen Erdgeschichte.

Doch es geht auch wesentlich schneller: Raffinerien produzieren aus Raps, Getreide, Mais, Zuckerrüben oder -rohr hochwertige Biokraftstoffe, die Benzin und Diesel ähneln. Sie können deshalb in modernen Verbrennungsmotoren eingesetzt werden, ohne dass diese dafür grundlegend verändert werden müssen. Biokraftstoffe lassen sich über das bestehende Tankstellennetz verteilen. Ihre Energiedichte ist nahezu so hoch wie die fossiler Treibstoffe, Autofahrer kommen mit einer Tankfüllung also ähnlich weit. Vor allem aber sind sie wesentlich klimafreundlicher als ihre fossilen Gegenstücke, da bei ihrer Verbrennung im Motor nur so viel Kohlendioxid freigesetzt wird, wie die Pflanzen zuvor aufgenommen haben. Klimaneutral ist der Biosprit allerdings nicht, weil beim Anbau und bei der Verarbeitung der Pflanzen Treibhausgase entstehen.

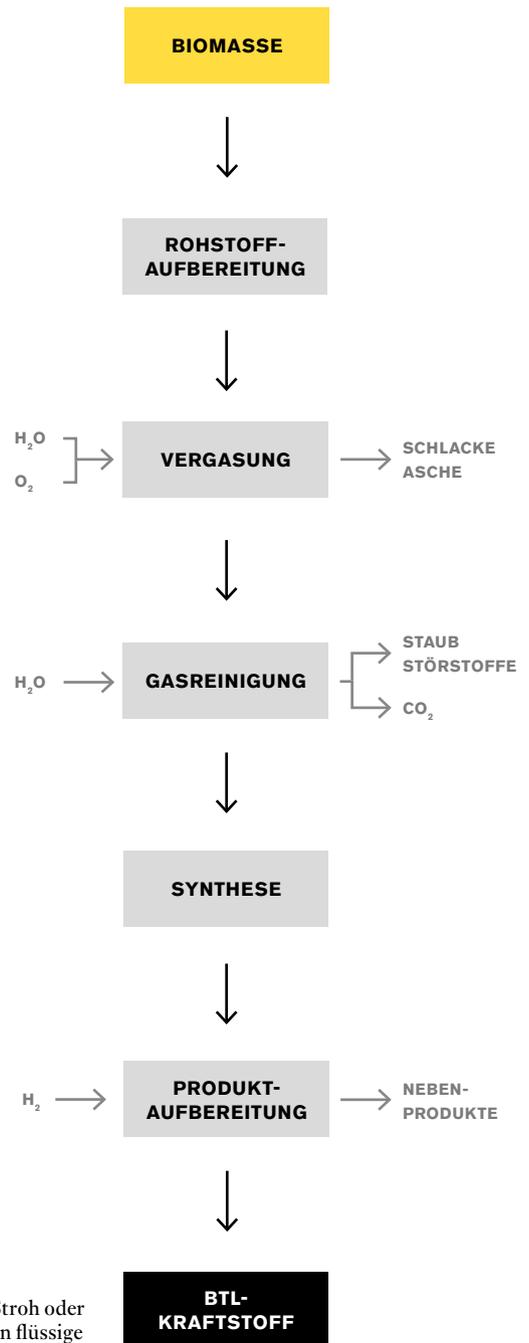
24

## Bioöl für Sprit und chemische Rohstoffe

Wer heute alternative Kraftstoffe wie Biodiesel oder Bioethanol zapft – sei es pur oder als Beimischung zu Benzin („E10“) und Diesel –, füllt sich sogenannte Biotreibstoffe der ersten Generation in den Tank. Sie werden aus Früchten und Samen von Pflanzen hergestellt. Damit stehen diese Biokraftstoffe jedoch in direkter Konkurrenz zur Produktion von Lebensmitteln. So lässt sich etwa aus Rapssamen nicht nur ein Kraftstoff, sondern auch ein gesundes Speiseöl herstellen. In Deutschland werden heute auf 800 000 Hektar Energiepflanzen für Treibstoffe angebaut, hat die Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe (FNR) ermittelt. Das entspricht immerhin sieben Prozent der gesamten Ackerfläche der Bundesrepublik. Angesichts der stetig wachsenden Weltbevölkerung und der knappen landwirtschaftlich nutzbaren Fläche auf der Erde entsteht mit den Biokraftstoffen der ersten Generation ein Tank-Teller-Konflikt.

Ein guter Grund für Forschende weltweit – darunter auch Wissenschaftler an Max-Planck-Instituten –, an Biokraftstoffen zu arbeiten, die sich aus anderen, nicht für die Ernährung geeigneten organischen Materialien herstellen lassen. Ziel ist, das Biomasse-Angebot für klimafreundliche Kraftstoffe zu erweitern, um dadurch den Konflikt zwischen Nahrungsmittel- und Treibstoffproduktion zu entschärfen.

## TREIBSTOFF AUS BIOMASSE



Um aus Stroh oder Holzabfällen flüssige Treibstoffe zu gewinnen, wird Biomasse zerkleinert und getrocknet. Anschließend wird sie mithilfe von Sauerstoff in Synthesegas umgewandelt, das hauptsächlich aus Kohlenmonoxid und Wasserstoff besteht. Nachdem Verunreinigungen daraus entfernt wurden, entstehen bei der Synthese flüssige Kohlenwasserstoffe, die nach der Aufbereitung als Treibstoffe zur Verfügung stehen.



Rohstoff Sägespäne: Holz besteht im Wesentlichen aus Lignocellulose, aus der sich sowohl Biosprit als auch Ausgangsstoffe für die chemische Industrie gewinnen lassen.

Dabei haben es die Forscher darauf abgesehen, möglichst viele Bestandteile der Biomasse zu nutzen. Im Fokus steht dabei die Lignocellulose, die aus Cellulose, Hemicellulose und Lignin besteht und das Gerüst von Pflanzen bildet. Mit ihren hohen Anteilen an Kohlen- und Wasserstoff ist sie ein attraktiver Rohstoff für Alternativen zu Benzin und Diesel, die nichts anderes sind als Kohlenwasserstoffe. Aus ihnen lassen sich aber auch Substanzen gewinnen, aus denen chemische Erzeugnisse wie Kunststoffe hergestellt werden können. Für beide Anwendungen kommen als Ausgangsmaterial etwa Stroh oder die Abfälle von Baumpflegearbeiten infrage. Allein mit der in Deutschland jährlich anfallenden Strohmenge ließen sich theoretisch gut drei Prozent des heimischen Primärenergiebedarfs decken.

Biokraftstoffe der zweiten Generation lassen sich auf verschiedenen Wegen herstellen. Im sogenannten BtL-Verfahren (Biomass to Liquids) wird aus der Biomasse unter Hitze zunächst Synthesegas erzeugt, das vor allem aus Wasserstoff und Kohlenmonoxid,

aber auch aus Schwefel- und Stickstoffverbindungen besteht. Letztere müssen entfernt werden, da sie den weiteren Prozess behindern. Das Synthesegas wird anschließend zu flüssigen Kohlenwasserstoffen verarbeitet – zum Beispiel im Fischer-Tropsch-Verfahren, das bereits vor fast hundert Jahren entwickelt wurde, um Kohle zu verflüssigen. Schließlich wird das entstandene Gemisch verschiedener Kohlenwasserstoffe mit Prozessen aus der Raffination von Erdöl zu Biokraftstoffen verarbeitet. „Mit diesem Verfahren ist es möglich, sogenannte Drop-in Fuels herzustellen, die sich problemlos in den heutigen Verbrennungsmotoren einsetzen lassen“, erklärt Ferdi Schüth, Direktor am Max-Planck-Institut für Kohlenforschung in Mülheim an der Ruhr. Außerdem eignet sich der BtL-Prozess für nahezu alle Arten von Biomasse.

Allerdings bringt das Verfahren eine logistische Herausforderung mit sich: Wegen des, gemessen am Volumen, recht geringen Energiegehalts der Biomasse sind gewaltige Mengen davon nötig, um eine Anlage aus-



Die Mischung macht's: Ferdi Schüth und sein Team arbeiten daran, Biokraftstoffe wettbewerbsfähiger zu machen. Im Labor suchen die Forschenden unter anderem nach Wegen, aus Biomasse neben Treibstoff auch hochpreisige Rohstoffe für die Chemieindustrie zu erzeugen.



lasten zu können. Das macht unzählige LKW-Fahrten notwendig, um ausreichend Stroh und andere Biomasse vom Acker zur Anlage zu bringen. Lösen lässt sich dieses Problem mit einer räumlich getrennten Pyrolyse, die den Syntheseprozessen vorgeschaltet wird. Dabei entsteht unter anderem ein sogenanntes Pyrolyse- oder Bioöl, das aus verschiedenen sauerstoffhaltigen organischen Verbindungen sowie Wasser besteht. Es enthält etwa drei Viertel des Energiegehalts der Biomasse – bei stark reduziertem Volumen. „Das Bioöl wird dann per Tankwagen oder

Zug in die BtL-Anlage transportiert und dort mit den Standardverfahren weiterverarbeitet“, erläutert Schüth. Der Umweg über die Pyrolyse hat aber nicht nur aus logistischer Sicht Charme – sondern auch, weil Raffinerien mit dem Bioöl neben Kraftstoffen auch chemische Rohstoffe herstellen können.

Eine Alternative zum BtL-Konzept sind die enzymatischen Verfahren. „Dabei wird die Biomasse nach einer mechanischen Vorbehandlung mithilfe spezieller Enzyme zerlegt“, erklärt Schüth. Dabei besteht die Herausforderung darin, das Lignin von der Cellulose und der Hemicellulose zu trennen. Letztere können zu Ethanol vergärt werden. Als Alternative zum enzymatischen Prozess lässt sich die Biomasse aber auch chemisch umwandeln. Auf diesem Wege kommt man zu einer breiteren Palette möglicher Kraftstoffkomponenten, zu Furanderivaten zum Beispiel. Ein Pluspunkt von Ethanol und Furanen: Sie verbrennen sauberer als etwa der BtL-Sprit.

Weltweit könnten Biokraftstoffe der zweiten Generation – einer Studie des Umweltbundesamtes zufolge – bis 2050 zwischen 13 und 19 Exajoule Energie bereitstellen. Das reicht zwar noch längst nicht aus, um den gesamten Energiebedarf für die Mobilität zu decken – der wird 2050 global bei insgesamt 100 bis 179 Exajoule liegen, schätzt die Bundesbehörde. Für den Klimaschutz im Verkehr seien sie jedoch eine notwendige Ergänzung zur Elektromobilität sowie zu anderen alternativen Treibstoffen.

Mit ihrer Arbeit am Biosprit sind die Forschenden aus Wissenschaft und Industrie bereits sehr weit gekommen: Große Demonstrationsanlagen sowohl für BtL- als auch für enzymatische Prozesse zeigen, dass die Verfahren, technisch gesehen, im Grundsatz gut funktionieren. Wären da bloß nicht die hohen

Kosten. „Die Prozesse sind derzeit alle noch viel zu teuer für einen breiten kommerziellen Einsatz“, sagt Schüth.

Beim BtL-Prozess treibt unter anderem die Reinigung des Synthesegases etwa von Schwefel- und Stickstoffverbindungen die Kosten in die Höhe. Bei den enzymatischen Verfahren wiederum gehen vor allem die Enzyme ins Geld. Zudem ist der Prozess alles andere als trivial. Das gilt auch für die Zerlegung der Biomasse auf chemischem Wege. Auch die Integration der enzymatischen und chemischen Verfahren in die Prozesse einer Bioraffinerie ist nicht gerade einfach. „Hier geht es vor allem darum, eine optimale Balance zwischen der Herstellung von Kraftstoff und Chemikalienprodukten zu finden“, erläutert Schüth.

Es gibt also noch viel zu tun für die Expertinnen und Experten aus Wissenschaft und Industrie – auch für Max-Planck-Institute, von denen einige schon lange zu Biokraftstoffen forschen. Das Max-Planck-Institut für Kohlenforschung zum Beispiel arbeitet derzeit unter anderem an Synthesemethoden für die Veredelung von Bioöl, das durch eine Pyrolyse von Biomasse hergestellt wird. „Wir wollen dazu beitragen, dass Raffinerien aus Bioöl auf wirtschaftliche Weise eher hochpreisige Chemierohstoffe und Kraftstoffe im richtigen Verhältnis produzieren können“, sagt Schüth. Das Bioöl enthält neben Wasser verschiedene Verbindungen aus Kohlenstoff, Wasserstoff und Sauerstoff – Carbonsäuren, Aldehyde oder Phenole zum Beispiel. Um das Bioöl zu Kraftstoffen und chemischen Rohstoffen verarbeiten zu können, müssen gezielt einzelne Sauerstoffatome aus den Verbindungen entfernt werden. Hier setzen die Max-Planck-Forschenden an: Sie suchen nach Katalysatoren, die eine solche selektive Desoxygenierung bei geringem Energieaufwand möglich machen.

## Weniger Schadstoffe

Darüber hinaus haben Forscher des Instituts einen neuartigen mechanochemischen Prozess entwickelt, bei dem Cellulose durch das Mahlen in einer Kugelmühle zerlegt wird. Das Verfahren ist schneller als herkömmliche Methoden, und es fallen weniger wertlose Nebenprodukte an. „Wir müssen aber ehrlich sagen: Bei der gegenwärtigen Marktsituation findet sich niemand, der den Prozess derzeit kommerziell anwenden könnte“, schränkt Schüth ein.

Wenn für die Produktion von Biokraftstoffen der zweiten Generation die Biopolymere aus der Biomasse erst einmal gespalten und dann quasi nach Belieben zu neuen Molekülen zusammengesetzt werden, dann lässt sich vielleicht auch ein anderes Problem angehen, für das der Verkehr – neben seiner schlechten CO<sub>2</sub>-Bilanz – immer wieder in die Kritik gerät: die Belastung vor allem der Innenstädte mit Schadstoffen,



## AUF DEN PUNKT GEBRACHT

Biokraftstoffe aus Pflanzenabfällen wie etwa Stroh stehen nicht in Konkurrenz zur Produktion von Nahrungsmitteln, sind aber noch zu teuer.

Biotreibstoffe werden in Pilotanlagen bereits im Biomass-to-Liquids-Verfahren oder enzymatisch erzeugt und könnten etwa ein Zehntel des weltweiten Energiebedarfs für die Mobilität decken.

Max-Planck-Forscher versuchen, die Nutzung von Lignocellulose rentabler zu machen, unter anderem indem sie daraus neben Treibstoffen auch eher hochpreisige Grundstoffe für die chemische Industrie gewinnen.

Über die molekulare Zusammensetzung lassen sich sowohl die Ruß- als auch die Stickoxidemissionen von Biotreibstoffen reduzieren. Bei fossilen Treibstoffen lässt sich der Ausstoß des einen Schadstoffs nur auf Kosten erhöhter Emissionen des jeweils anderen senken.

hauptsächlich mit Feinstaub und Stickoxiden. Denn das BtL-Verfahren lässt sich möglicherweise so gestalten, dass schadstoffärmerer Sprit entsteht.

Diesen Grundgedanken verfolgen Forschende an einem Exzellenzcluster der Rheinisch-Westfälischen Technischen Hochschule Aachen (RWTH) namens „The Fuel Science Center“, an dem die Max-Planck-Institute für Kohlenforschung und für chemische Energiekonversion sowie das Forschungszentrum Jülich beteiligt sind. Dabei haben es die Wissenschaftler vor allem auf die Ruß-NO<sub>x</sub>-Schere abgesehen, die bei allen Kraftstoffen aus reinen Kohlenwasserstoffen, ob fossil oder erneuerbar, ein Problem darstellt. Sie bezeichnet einen Zielkonflikt bei der Verbrennung: Je weniger Sauerstoff dabei vorhanden ist, desto mehr Ruß in Form von gesundheitsschädlichem Feinstaub entsteht. Je mehr Sauerstoff jedoch im Spiel ist, desto mehr Stickoxide, kurz NO<sub>x</sub>, stößt der Motor aus. „Man hat also vermehrt entweder den einen oder den anderen Schadstoff im Abgas“, erklärt Walter Leitner, Direktor am Max-Planck-Institut für chemische Energiekonversion in Mülheim an der Ruhr.

Die Wissenschaftler des Fuel Science Center haben die molekulare Zusammensetzung der alternativen Kraftstoffe daher so verändert, dass sowohl der Ruß als auch der NO<sub>x</sub>-Ausstoß niedrig gehalten werden. „Wir haben die Kraftstoffe quasi auf die Emissionsminderung hin maßgeschneidert“, sagt Leitner. Dabei arbeiten die Forscher nicht nur mit biobasierten, sondern auch mit synthetischen, strombasierten Kraftstoffen. Dieser Treibstoff, auch E-Fuel genannt, wird aus Kohlendioxid und aus Wasserstoff hergestellt, der per Elektrolyse mit Strom aus Windrädern, Photovoltaikanlagen oder Wasserkraftwerken produziert wurde. Abstriche beim Wirkungsgrad des Motors müssen Autofahrer bei solchen Kraftstoffen nicht machen. „Hier kann man über die molekulare Zusammensetzung sogar Vorteile zum Beispiel bei der Klopfestigkeit und damit der Motorleistung erreichen“, erklärt der Wissenschaftler.

Das Exzellenzcluster setzt jedoch nicht nur bei den Kraftstoffen an, sondern auch bei den Motoren. „Die Kollegen aus den Ingenieurwissenschaften entwickeln die klassischen Otto- und Dieselmotoren so weiter, dass sie die Vorteile der optimierten Kraftstoffe bestmöglich nutzen können, mit Blick auf die Emissionen wie auf ihre Performance“, erläutert Leitner. So arbeiten die Forscher unter anderem an Motoren, die mit unterschiedlichen Kraftstoffen aus zwei Tanks gespeist werden – einer enthält einen Kraftstoff, der besonders schnell zündet und damit die Verbrennung optimal in Gang setzt; der andere liefert den Sprit für den eigentlichen Betrieb. Von der Serienreife sind solche Motorenkonzepte allerdings noch weit entfernt. „Das liegt nicht zuletzt daran, dass die Automobilindustrie derzeit sehr stark auf andere Pferde setzt“, so Leitner.

Gut möglich, dass sich dies ändert, wenn die Politik Rahmenbedingungen schafft, die innovative Motorenkonzepte dieser Art für die Autobranche attraktiver machen. Das gilt genauso für den Einsatz von Kraftstoffen regenerativen Ursprungs. „Sie werden sich nur dann durchsetzen, wenn der Markt ihren Einsatz belohnt. Und das verlangt, dass die Politik die Weichen neu stellt“, erklärt Ferdi Schüth vom Max-Planck-Institut für Kohlenforschung.

Zwar gibt es mit dem Bundesimmissionsschutzgesetz bereits heute einen Hebel, Ökosprit an die Zapfsäulen zu bringen. Es zwingt die Kraftstoffindustrie, die CO<sub>2</sub>-Emissionen ihrer Produkte kontinuierlich zu reduzieren. Um dem gerecht zu werden, mischen die Unternehmen dem Benzin und Diesel jedoch vor allem Biokraftstoffe der ersten Generation bei. Die sind deutlich billiger als solche aus Cellulose. Das liegt vor allem daran, dass die Branche Kraftstoffe aus Früchten, Samen wie Raps oder Zuckerrohr längst in industriellem Maßstab herstellt, was die Kosten trotz der teuren Ausgangsstoffe niedrig hält.

Um Biotreibstoffe der zweiten Generation in den Markt zu bringen, muss die Nachfrage stimuliert werden, sodass es sich für die Industrie lohnt, entsprechende Produktionskapazitäten aufzubauen. Denn je mehr hergestellt wird, desto stärker sinken die Kosten. Immerhin hat die EU mit der Neufassung der Erneuerbare-Energien-Richtlinie (RED II) festgelegt, dass der Anteil „fortschrittlicher Biokraftstoffe im Verkehrssektor“ – gemeint sind alle Kraftstoffe aus biologischen Abfall- und Reststoffen – bis 2025 mindestens ein Prozent und bis 2030 mindestens 3,5 Prozent betragen soll. Den Anteil von Biokraftstoffen der ersten Generation hat die EU wegen möglicher Landnutzungskonflikte auf sieben Prozent begrenzt. Da Biokraftstoffe der zweiten Generation doppelt ange-

**„Eine CO<sub>2</sub>-Abgabe auf fossile Kraftstoffe kann dazu beitragen, dass diese ihren Kostenvorteil verlieren.“**

FERDI SCHÜTH

rechnet werden dürfen, liegt das Ziel für diese real jedoch nur maximal halb so hoch.

Schüth und auch sein Forscherkollege Leitner bevorzugen allerdings statt einer Quote ein anderes Instrument: die CO<sub>2</sub>-Bepreisung. „Eine CO<sub>2</sub>-Abgabe auf fossile Kraftstoffe in angemessener Höhe kann dazu beitragen, dass diese ihren Kostenvorteil gegenüber klimafreundlicheren Alternativen verlieren“, sagt Schüth. Leitner weist darauf hin, dass dies aber nur dann gilt, wenn die Beimischung von biobasierten oder auch synthetischen, strombasierten Kraftstoffen als emissionsmindernd anerkannt wird. „Nach den aktuellen EU-Regularien ist das derzeit noch nicht der Fall“, sagt Leitner. „Hier besteht bei der bevorstehenden Novellierung ein dringender Handlungsbedarf, damit in der Bilanz nicht allein der CO<sub>2</sub>-Ausstoß am Motor betrachtet wird, sondern auch die Bindung des CO<sub>2</sub> bei der Produktion“, sagt Leitner. „Biotreibstoffe und E-Fuels verwerten ja zunächst CO<sub>2</sub>, um damit erneuerbare Energie nutzbar zu machen. Sie packen sozusagen Sonne in den Tank.“

<https://www.mpg.de/podcasts/biooekonomie>



## GLOSSAR

### *BIOMASS-TO-LIQUIDS-PROZESS (BTL)*

Der Begriff bezeichnet thermochemische Verfahren, durch die Biomasse in flüssige Treibstoffe umgewandelt wird. Dabei wird aus Biomasse zunächst Synthesegas, eine Mischung von Kohlenmonoxid und Wasserstoff, erzeugt. Daraus entstehen dann, zum Beispiel in der Fischer-Tropsch-Synthese, flüssige Kohlenwasserstoffe.

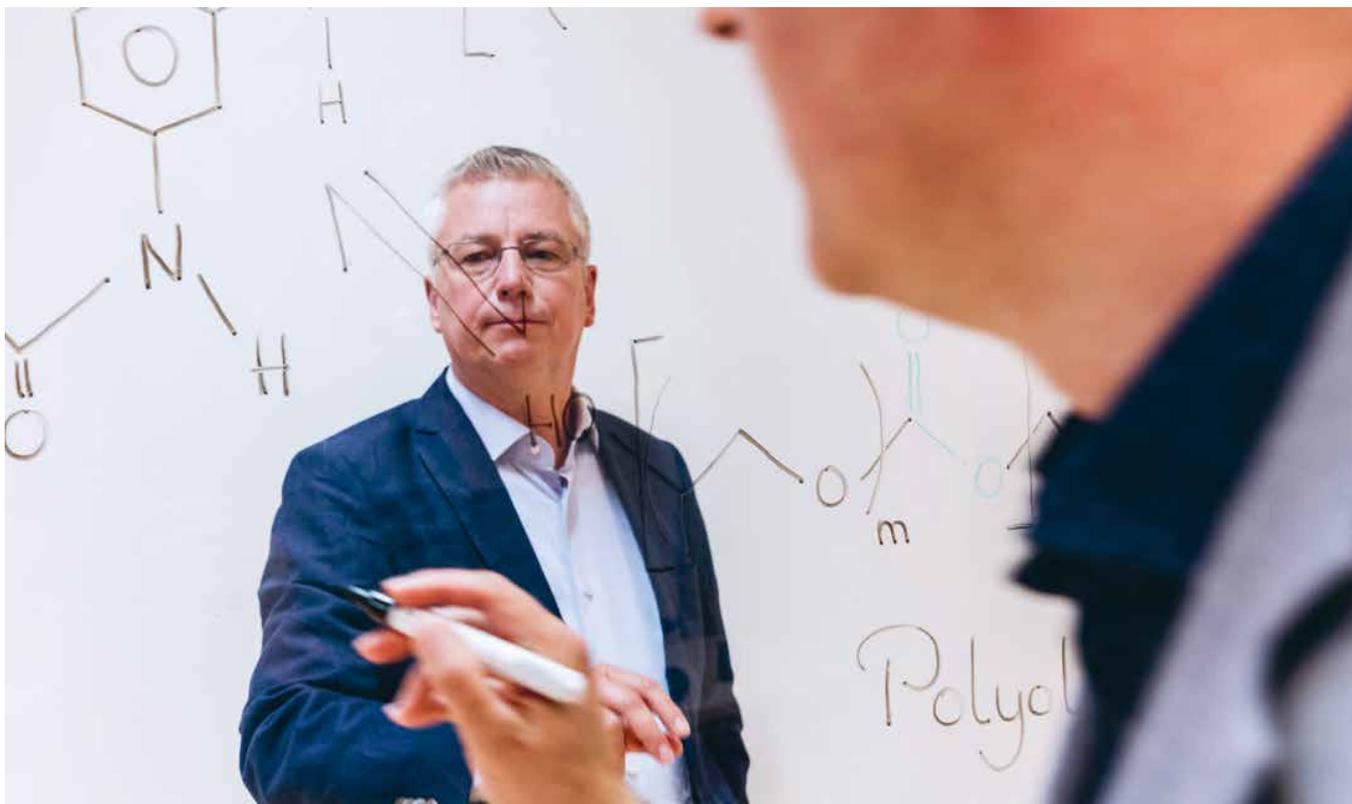
### *FISCHER-TROPSCH-SYNTHESE*

Das Verfahren wurde ursprünglich entwickelt, um aus Kohle flüssige Treibstoffe zu gewinnen; es lässt sich aber auch auf Biomasse anwenden. Dabei werden aus Kohlenmonoxid und Wasserstoff, die aus dem festen Ausgangsstoff gewonnen werden, flüssige Kohlenwasserstoffe synthetisiert.

### *LIGNOCELLULOSE*

bildet das Stützmaterial von Pflanzen und besteht aus den Vielfachzuckern Cellulose und Hemicellulose sowie dem komplexen Biopolymer Lignin.

Alternative zur Alternative: Biomasse ist für Walter Leitner nicht die einzige Quelle klimaneutraler Treibstoffe. Er treibt auch die Umwandlung von CO<sub>2</sub> und regenerativ erzeugtem Wasserstoff zu Kohlenwasserstoffen und anderen chemischen Produkten voran.





# FABRIKEN AUF DEM FELDE

TEXT: CATARINA PIETSCHMANN

Die Fabrik der Zukunft wächst auf dem Acker – zumindest wenn es nach Ralph Bock und seinem Team am Max-Planck-Institut für molekulare Pflanzenphysiologie in Golm geht. Die Forscher und Forscherinnen wollen Pflanzen zu Produktionsstätten für Substanzen machen, die sonst nur aufwendig und teuer herzustellen sind. Eine zuletzt eher verpönte Pflanze könnte dabei eine unerwartete Renaissance erleben.

FOTO: MARKA/UNIVERSAL IMAGES GROUP VIA GETTY IMAGES

Tabakplantage in Italien. Künftig könnten diese Pflanzen auch zur Produktion von Farb- oder Impfstoffen angebaut werden.



FOTO: SCIENCE PHOTO LIBRARY / AMI IMAGES

Elektronenmikroskopische Aufnahme der Alge *Chlamydomonas reinhardtii*. Forscher wollen in Algen wie diesen den Farbstoff Astaxanthin produzieren (Mitte: Zellkern, schwarz: Chloroplasten).

- 32 Nur mit Luft und Liebe wachsen Pflanzen nicht. Sie können aber aus vergleichsweise wenigen Ausgangssubstanzen eine unglaubliche Vielfalt an Inhaltsstoffen herstellen. Kohlendioxid aus der Luft und das Licht der Sonne, dazu noch Wasser und Mineralien – das sind die Zutaten, mit denen Pflanzenzellen Kohlenhydrate produzieren; ein Prozess, der als Photosynthese bezeichnet wird. Die Zucker sind die Basis für eine riesige Palette kohlenstoffhaltiger Substanzen: Cellulose, Stärke, Fettsäuren, Aminosäuren, Proteine, Hormone, Vitamine sowie diverse Farb- und Duftstoffe und Gifte. All dies stellen Pflanzen für ihren Eigenbedarf her und ernähren damit ganz nebenbei noch Mensch und Tier.

Die „grünen Fabriken“ arbeiten äußerst effizient, nachhaltig und erzeugen keinen umweltschädlichen Abfall. Im Gegenteil: Abgestorbene Pflanzenteile werden von Mikroorganismen vollständig zersetzt und wieder in die Stoffkreisläufe eingeschleust. All diese Eigenschaften lassen bis heute jeden Chemiker vor Neid erblassen. Aber könnte man die Fähigkeiten der Pflanzen nicht noch stärker für den Menschen nutzbar machen?

„Molecular farming“ oder „molekulare Landwirtschaft“ heißt dieses Konzept. Ein besonders vielversprechender Ansatz beruht auf gezielten Erbgutveränderungen in den sogenannten Chloroplasten – den Organellen innerhalb der Pflanzenzellen für die Photosynthese. Die Chloroplasten besitzen ihr eigenes Erbgut

und können so einen Teil der Proteine für die Photosynthese selbst herstellen.

Mit den Veränderungen im Erbgut will Ralph Bock seine Pflanzen dazu bringen, für den Menschen wichtige Substanzen zu produzieren. Zum Beispiel den Farbstoff Astaxanthin. Die Substanz wird von der einzelligen Meeresalge *Haematococcus pluvialis* erzeugt und ist ein starkes Antioxidans. In der Natur nehmen Fische und Krebstiere Astaxanthin über die Nahrung auf und bilden dadurch rötliches Muskelgewebe. Zuchtlachsen dagegen muss der Farbstoff extra gefüttert werden, ansonsten bleibt ihr Fleisch weiß und

**„Biosprit aus Raps  
ist ökonomischer  
Wahnsinn und Umwelt-  
sünde zugleich.“**

RALPH BOCK

kann nicht so teuer verkauft werden. Astaxanthin ist aber kein ganz billiges Nahrungsergänzungsmittel: Ein Kilo kostet 15 000 Dollar, wenn es in einem aufwendigen Verfahren aus den Algen herausgelöst werden muss. Bock und sein Team setzen stattdessen auf Tabakpflanzen: „Wenn wir den Stoffwechselweg zur Bildung von Astaxanthin in die Pflanzen einbauen, können die Pflanzen es wesentlich preiswerter produzieren“, erzählt Bock.

Wie viel Astaxanthin die Blätter des genetisch veränderten Tabaks produzieren, sieht man auf den ersten Blick an ihrer orangen Farbe. Unter dem Mikroskop zeigt sich, dass dies an den Chloroplasten liegt, die dicht an dicht in jeder Pflanzenzelle sitzen: Beim normalen Tabak wegen des natürlichen Blattfarbstoffs Chlorophyll leuchtend grün, färben die Astaxanthin-Kristalle die Blätter nun knallig orange. Aber warum zweckentfremden die Forscher die Chloroplasten als Bioreaktoren und nicht gleich die gesamte Pflanzenzelle? „Nach Jahren intensiver Forschung wissen wir heute, dass sich fremde Gene in den Chloroplasten leichter aktivieren lassen“, erklärt Bock. „Außerdem werden sie nur mütterlicherseits vererbt. Es besteht deshalb kaum Gefahr, dass veränderte Gene über Blütenpollen auf Nachbarfelder zu unveränderten Pflanzen geweht werden.“ Ein weiterer wesentlicher Vorteil ist, dass jeder Chloroplast bis zu 100 Kopien eines Gens besitzt. Das ergibt bei rund 100 Chloroplasten pro Zelle 10 000 Kopien. „Auf diese Weise können wir viel größere Mengen einer Substanz herstellen“, sagt Ralph Bock.

Tabakpflanze mit Astaxanthin-Gen (links): Der in den Chloroplasten gebildete Farbstoff färbt die Blätter der Pflanze rötlich.



FOTO: MPI FÜR MOLEKULARE PFLANZENPHYSIOLOGIE

Tabak, ohnehin eine der Modellpflanzen der Biologie, ist für molekulares Farming im großen Stil ideal. Sein Erbgut lässt sich aus unbekanntem Gründen leichter und schneller verändern als das anderer Pflanzen. Zudem wächst Tabak sehr schnell, sodass seine Blätter mehrmals im Jahr geerntet werden können.

Hinzu kommt eine gesellschaftliche Entwicklung: Seit Tabak immer weniger für Zigaretten benötigt wird, kämpfen viele Tabakfarmer in den USA ums Überleben. „Die Bauern in Kentucky und Virginia sind sehr konservativ. Für sie ist es ganz undenkbar, auf Weizen, Mais oder Kartoffeln umzusteigen“, erzählt Bock. Die schon vorhandenen Anbauflächen für Tabak könnten also weiter genutzt werden, und die Tabakbauern hätten wieder eine Perspektive – eine klassische Win-win-Situation also. Aber noch eine weitere Eigenschaft prädestiniert den Tabak geradezu zum pflanzlichen Bioreaktor: seine Giftigkeit. Das Nikotin in den Blättern ist so toxisch, dass schon der Verzehr eines einzigen Blattes einen Menschen töten kann. „Wer pharmazeutisch wirksame Substanzen in einer Pflanze produzieren will, möchte natürlich unter allen Umständen vermeiden, dass diese Stoffe in den Nahrungskreislauf gelangen. Wenn eine Pflanze von vornherein ungenießbar ist, ist diese Gefahr sehr gering“, sagt Bock. Als Fischfutter für Zuchtlachse ist Astaxanthin-haltiger Tabak demnach ungeeignet. Dafür müsste das Nikotin aus Tabakextrakten entfernt werden. Noch besser wäre es, einen Organismus, der direkt dem Fischfutter zugesetzt werden kann, mit dem Stoffwechselweg auszustatten. Bocks Team setzt deshalb auf Rot- oder Grünalgen. Die sind billiger und können dem Futter in getrockneter Form zugesetzt werden.

Ein Beispiel für einen medizinischen Wirkstoff aus Pflanzen ist Artemisinin, ein Medikament gegen Malaria. Es wird aus einer kleinen, einjährigen Pflanze gewonnen, die in China, Vietnam und einigen Ländern im Süden Afrikas angebaut wird, dem Einjährigen Beifuß (*Artemisia annua*). Die Pflanze enthält jedoch von dem Wirkstoff nur zwischen 0,1 und 0,4 Prozent ihrer Trockenmasse. Auch genetisch veränderte Pflanzen, die die Forschenden in Golm entwickelt haben, enthalten nicht mehr davon. Tabak produziert jedoch viel mehr Biomasse als die kleine Beifußpflanze. Damit wäre auch die Menge an Artemisinin um ein Vielfaches höher, die pro Hektar geerntet werden könnte.

Tabak ist also das Modell, an dem Ralph Bock seine Ideen testet. Dabei müssen die Forscher und Forscherinnen zunächst herausfinden, welcher Stoffwechselweg sich am besten für die Produktion der gewünschten Substanz zweckentfremden lässt und auf welche Menge einer Molekül-Zwischenstufe die Pflanze verzichten kann. „Wir dürfen den Stoffwechsel nicht zu stark stören, denn sonst wächst die Pflanze nicht mehr genug.“



Über die Jahre haben die Wissenschaftler Unmengen an Daten über die Konzentration und Aktivität von Stoffwechselprodukten gesammelt. Sie wissen also genau, welche Menge eines Enzyms notwendig ist, damit die Pflanze eine neue Substanz produzieren kann. Deshalb verknüpfen sie zunächst die neuen Gene mit Signalstrukturen, sogenannten Promotoren, die bestimmen, wie stark das Gen aktiviert und abgelesen werden soll. Als Nächstes beschichten die Forscher Nanopartikel aus Gold mit verschiedenen Varianten solcher DNA-Abschnitte und „schießen“ sie mit einer Art Druckpistole auf Blattstückchen. Ein kleiner Teil der Partikel bleibt innerhalb einer Pflanzenzelle stecken. Die DNA kann dann abgelesen und in die gewünschten Proteine übersetzt werden. Anschließend wachsen die genetisch veränderten Blattzellen in Nährmedien zu vollständigen Pflanzen heran.

Schließlich spielen auch technische Aspekte eine zentrale Rolle: Gibt es eine einfache und preiswerte Methode, um die Substanz anzureichern? Wenn ja, kann sie auch in großem Maßstab angewendet werden? Substanzen zu extrahieren, kann langwierig und kostspielig sein. Ob es sich lohnt, hängt entscheidend davon ab, wofür das Molekül eingesetzt werden soll. „Wenn wir zum Beispiel mit hohem Aufwand nur zehn Milligramm einer Substanz aus einem Kilogramm Blätter isolieren können, eignet sie sich natürlich nicht als Fischfutterzusatz. Für ein hochwirksames Krebsmedikament kann das aber schon ausreichend sein“, sagt Ralph Bock.

Am einfachsten ist es, wenn das gewünschte Molekül in einer essbaren Pflanze produziert werden kann. „Für gesundheitsfördernde Stoffe wie Vitamine ist zum Beispiel die Tomate ideal, weil man sie roh essen kann.“ Tomaten sind reich an dem roten Farbstoff Lycopin, der Vorstufe von Vitamin A. Der in weiten Teilen Afrikas und Südsiens herrschende Vitamin-A-Mangel beeinträchtigt unter anderem die Sehkraft, erhöht die Anfälligkeit für Infektionskrankheiten und verursacht Wachstums- und Fruchtbarkeitsstörungen. „Durch eine relativ einfache enzymatische Umwandlung können wir in Tomaten aus Lycopin das Vitamin erzeugen“, so Bock. Essbare Impfstoffe wären eine weitere Anwendung für genetisch veränderte Pflanzen. Für Impfkampagnen in den Tropen müssen Impfstoffe in der Regel gekühlt transportiert und gelagert werden, sonst verlieren sie ihre Wirksamkeit. Tomaten beispielsweise könnten direkt vor Ort wachsen und auch eine gewisse Zeit gelagert werden. Auch Getreide, Nüsse oder Kürbiskerne könnten eines Tages als „Fabriken“ und natürliche Verpackungen für Impfstoffe dienen.

Denkbar ist vieles. Aber in vielen Industriestaaten ist Gentechnik für weite Teile der Bevölkerung immer noch ein Reizwort. Nach Umfragen

sind 70 Prozent der Europäer gegen gentechnisch verändertes Obst, Gemüse und Getreide, die sogenannte grüne Gentechnik. Dabei stammen heute 90 Prozent der Sojaproduktion von genetisch veränderten Pflanzen. Und was kaum ein Verbraucher weiß: Bei der klassischen Züchtung werden heute meist erbgutverändernde Chemikalien oder Strahlung eingesetzt, die wahllos eine Vielzahl von Mutationen im Erbgut hervorrufen.

Für Arzneimittel aus transgenen Pflanzen ist die Stimmungslage genau umgekehrt: 70 Prozent der Befragten halten diese Anwendungen der grünen Gentechnik für eine gute Idee. Eigentlich ist das widersinnig, denn eine Nutzpflanze durch den Einbau oder die Veränderung eines Gens vor Insektenfraß zu schützen oder widerstandsfähiger gegen Trockenheit zu machen, gilt in der Wissenschaft einhellig als unbedenklich. Produziert man dagegen einen neuen, hochpotenten Wirkstoff in einer Pflanze, müssen die Wissenschaftler zunächst verschiedene Sicherheitsfragen klären. Denn die Substanz darf keinesfalls wesentlich in die Nahrungskette gelangen. „Man sollte meinen, dass das mehr Besorgnis hervorrufen müsste. Die Bevölkerung sieht aber gerade diesen Punkt am wenigsten kritisch“, sagt Ralph Bock. Der Widerspruch in den Umfrageergebnissen spiegelt seiner Meinung nach die Prioritäten der Menschen in Europa wider. „Die Gefahren lauten Stress, Krebs, Herz-Kreislauf-Erkrankungen und Demenz – dagegen brauchen wir neue Medikamente. An Nahrungsmitteln mangelt es uns dagegen nicht. Menschen in Afrika sehen das natürlich ganz anders“, betont Bock.

Freilandexperimente mit genetisch veränderten Pflanzen sind in Deutschland derzeit so gut wie unmöglich. „Wir haben das fast vollständig aufgegeben“, sagt Bock. Forscher können zwar die Freisetzung transgener Pflanzen zu Forschungszwecken beantragen, praktisch aber sind die Versuche kaum durchführbar. „Obwohl wir sehr offen mit unseren Versuchen umgegangen sind und die Öffentlichkeit dazu eingeladen haben, haben Aktivisten nachts Zäune durchgeschnitten und die Pflanzen zerstört.“ Das

---

## AUF DEN PUNKT GEBRACHT

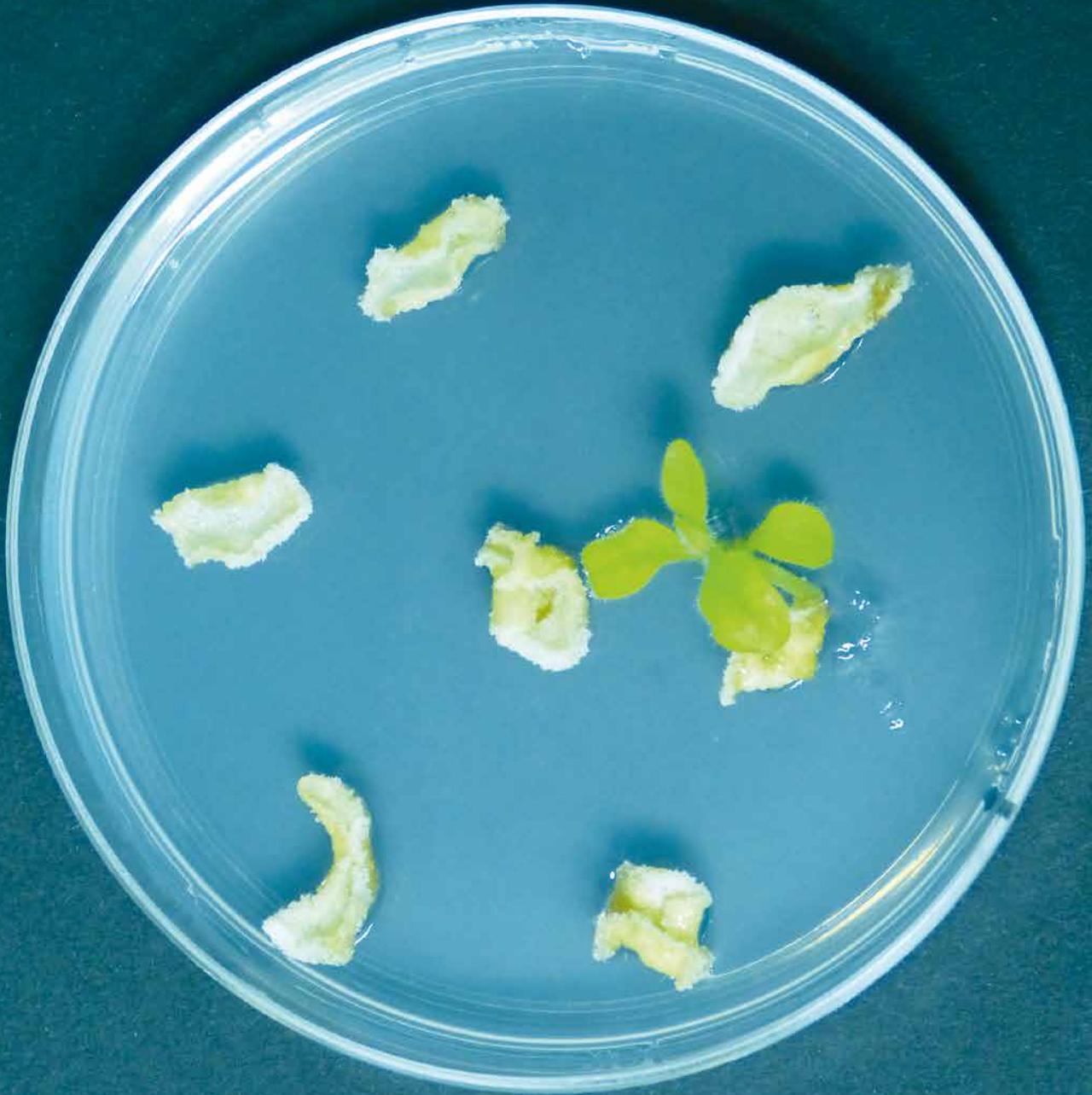
Forscher wandeln Pflanzen in „grüne Fabriken“ um, indem sie die Gene in das Erbgut der Chloroplasten einfügen.

Mit den neuen Genen können Pflanzen beispielsweise Impfstoffe und Vitamine produzieren.

Als „grüne Fabriken“ sind Tabakpflanzen besonders geeignet, denn sie können große Mengen einer Substanz produzieren. Aber auch andere Nutzpflanzen sowie einzellige Algen in Bioreaktoren können zu grünen Fabriken umfunktioniert werden.

---





Forscher beschließen Blattzellen mit winzigen, DNA-beschichteten Partikeln und bringen so Gene in die Zellen ein. Auf speziellen Nährmedien wachsen die Blattstückchen anschließend zu vollständigen Tabakpflanzen mit neuen Eigenschaften heran.

Experiment musste ein Jahr später unter kompletter Überwachung wiederholt werden. „Das hat uns 30000 Euro gekostet. Danach haben wir beschlossen, Freisetzungsexperimente nur noch durchzuführen, wenn der zu erwartende Erkenntnisgewinn so groß ist, dass der Aufwand gerechtfertigt ist.“ Ralph Bock und sein Team untersuchen ihre Pflanzen daher in der Regel nur im Gewächshaus. Sind die Resultate erfolgversprechend, suchen sich die Golmer Forscherinnen und Forscher zusammen mit der Wissenschaftsgesellschaft der Max-Planck-Gesellschaft einen Partner in der Industrie, der die Entwicklung zur Marktreife übernimmt.

So umweltfreundlich und nachhaltig das molekulare Farming auch klingt – könnte ihm nicht ein ähnliches Schicksal blühen wie der Produktion von Biotreibstoffen aus Pflanzen? Die anfängliche Begeisterung für Energiepflanzen hat sich ja schnell wieder gelegt, seit die Folgen riesiger Maisfelder und Palmölplantagen für alle Welt sichtbar sind: monotone Ackerflächen anstelle artenreicher Wiesen und gerodete tropische Regenwälder. Biokraftstoffe mögen für den Klimaschutz gut sein, für die Artenvielfalt können sie katastrophale Folgen haben. Auch Ralph Bock sieht die „Bioenergie vom Acker“ kritisch. „Im Gegensatz zu wirkstoffhaltigen Tabakpflanzen ist zum Beispiel bei Raps nur ein Bruchteil der Biomasse nutzbar: Aus den Samen werden unter gewaltigen Kosten und Umweltbelastungen nur ein paar Liter Biodiesel ge-

wonnen. Das ist ökonomischer Wahnsinn und eine Umweltsünde zugleich.“

Im Vergleich zu den Energie- und Futterpflanzen ist der Flächenbedarf für molekulares Farming auch noch aus einem anderen Grund deutlich geringer. „Wir haben das für Artemisinin einmal durchgerechnet: Um den Weltbedarf mit unseren Tabakpflanzen zu decken, bräuchten wir eine Anbaufläche von der Größe der Stadt Boston“, erklärt Bock. Nicht sehr viel, wenn man bedenkt, dass man damit die mehr als 200 Millionen Menschen behandeln könnte, die sich jährlich neu mit der Tropenkrankheit infizieren. Für die Erzeugung pharmazeutischer Wirkstoffe sind transgene Pflanzen also eine elegante und kostengünstige Alternative zur klassischen Pharmaproduktion, die häufig noch auf dem Einsatz von Erdöl beruht. Zumal es sogar möglich ist, gleich mehrere Wirkstoffe parallel in einer Pflanze herzustellen, zum Beispiel als Kombinationsimpfstoffe.

In gewisser Weise kehrt die Medizin mit dem molekularen Farming wieder zu ihren Wurzeln zurück. Schließlich behandeln Menschen ihre Leiden schon seit Jahrtausenden mit Wirkstoffen aus der Natur. Heilpflanzen waren also schon immer die Apotheke der Menschheit. Nun könnten sie es wieder werden, aber mit dem Know-how des 21. Jahrhunderts.

<https://www.mpg.de/podcasts/bioeconomie>



36

Für Ralph Bock sind genetisch veränderte Tabakpflanzen ein Weg, Substanzen künftig nachhaltiger herzustellen.



FOTO: SEVENS+MALTRY, MPI FÜR MOLEKULARE PFLANZENPHYSIOLOGIE

## GLOSSAR

### CHLOROPLASTEN

... sind Organellen für die Fotosynthese in Pflanzenzellen. Während manche einzelligen Algen nur einen einzigen Chloroplasten haben, können höhere Pflanzen mehrere Dutzend pro Zelle aufweisen. Chloroplasten wandeln die Energie des Sonnenlichts mithilfe des Blattfarbstoffs Chlorophyll in chemische Energie um. Auf diese Weise können sie aus Kohlendioxid und Wasser Kohlenhydrate bilden. Chloroplasten sind aus einstmaligen eigenständigen Mikroorganismen hervorgegangen und haben deshalb ihr eigenes Erbgut. Das ringförmige DNA-Molekül ist mit rund 100 Genen deutlich kleiner als das Erbgut im Zellkern.

# Sunrise!

Mit einem 130 Meter großen Heliumballon hat die Stiftung am Max-Planck-Institut für Sonnensystemforschung den Flug eines der größten Sonnenteleskope gefördert, das je den Erdboden verlassen hat.

Mit Sami Solankis Observatorium SUNRISE wurden die Magnetfelder der Sonne in höchster Auflösung beobachtet.

Nun kann besser erforscht werden, welchen Einfluss die Sonne auf das System Erde hat.

ANZEIGE



Die Max-Planck-Förderstiftung unterstützt seit über zehn Jahren die Max-Planck-Gesellschaft, indem sie an den mehr als 80 Instituten gezielt innovative und zukunftsweisende Spitzenforschung fördert und so Durchbrüche in der Wissenschaft ermöglicht. Im weltweiten Wettbewerb der Wissenschaften können Sie als privater Förderer einen entscheidenden Unterschied machen und Freiräume schaffen.

Gehen Sie mit uns diesen Weg!

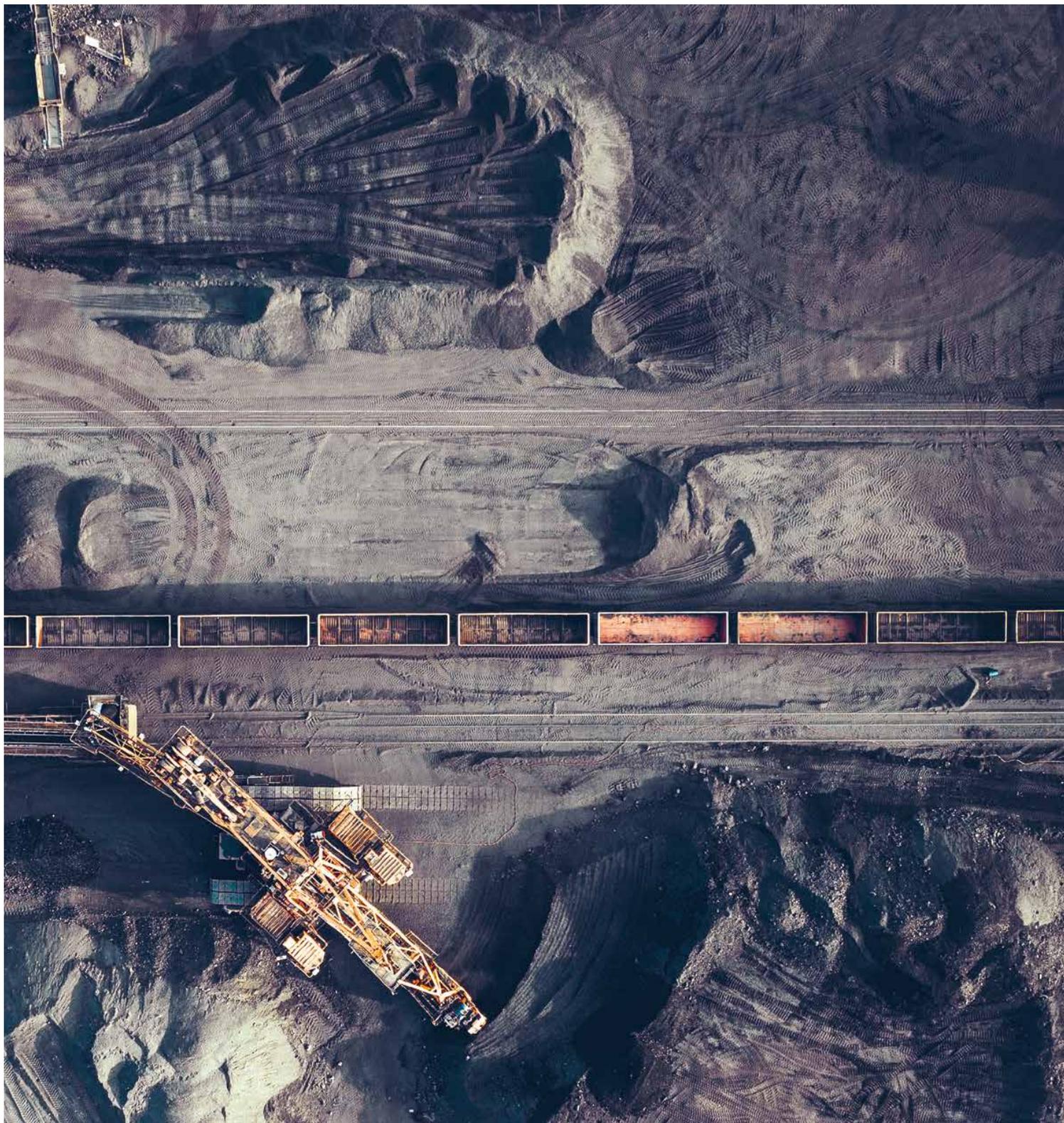


[www.maxplanckfoundation.org](http://www.maxplanckfoundation.org)

**Max-Planck-Förderstiftung**

**Deutsche Bank**

**IBAN DE46 7007 0010 0195 3306 00**



# EINE INVENTUR DES FOSSILEN ZEITALTERS

TEXT: JEANNETTE GODDAR

FOTO: MARK AGNOR / SHUTTERSTOCK

Schwarze Ödnis: der Abbau von Kohle im Tagebau greift massiv in die Landschaft ein.

Der Klimawandel erfordert, dass wir uns von Erdöl und Kohle verabschieden. Doch unsere Gesellschaft, speziell unser Ideal von Freiheit und Wohlstand, ist in ungeahntem Maße von den fossilen Rohstoffen geprägt. Wie stark diese Abhängigkeit ist und welche Wege es gibt, davon loszukommen, das untersuchen Forscherinnen und Forscher am Max-Planck-Institut für Wissenschaftsgeschichte in Berlin.

Es gibt Tage in Deutschland, da läuft die Energiewende auf allen Kanälen. Zum Beispiel wenn, wie an diesem Tag im Januar, die Bundeskanzlerin am Mittag mit den Spitzen der Autobranche über die Zeit nach dem Verbrennungsmotor berät und am Abend mit den Ministerpräsidenten der vier Kohleländer im Kanzleramt zum Kohlegipfel zusammensitzt. Beides Treffen, die deutlich machen: Es geht um viel mehr als Öl und Kohle und Milliarden Euro. Nämlich um Zigtausende Arbeitsplätze, Strukturpolitik, um das ohnehin sensible Verhältnis zwischen Ost und West und um tief verankerte Traditionen.

Fragt man Benjamin Steininger vom Max-Planck-Institut für Wissenschaftsgeschichte, bestimmen fossile Rohstoffe unsere Welt noch mehr, als es an solchen Tagen erscheint: „Wir leben in Städten, die nur motorisiert zu erreichen sind, tragen Goretex und Nylon, ernähren uns mithilfe von Kunstdünger, sind auf Medikamente angewiesen – alles Dinge, die auf Erdöl, Gas und Steinkohle basieren. Konkret wie abstrakt ist unser Lebensstil auf eine Weise von fossilen Rohstoffen geprägt, die wir noch kaum durchdrungen haben.“ Sogar eine politisch-gesellschaftliche Errungenschaft wie die Abschaffung der Arbeit von Kindern und rechtlosen Menschen, ergänzt Steininger, sei erst möglich geworden, als und weil Maschinen mithilfe fossiler Energien deren Arbeit übernahmen. Auch für die Moderne grundlegende Konzepte – die Freiheit des Einzelnen, Wohlstand und Fortschritt – haben sich mit dem technischen System der Nutzung fossiler Energieträger entwickelt.

Nun ist das kein Appell, an der massenhaften Verbrennung klimaschädlicher Rohstoffe festzuhalten. Sondern die Aufforderung zu erkennen, dass es mit dem Umstieg auf den Elektromotor und dem Abschied von Plastiktüten nicht getan sein wird. Steininger fordert – und fördert – eine Befassung mit all dem immateriellen Erbe der fossilen Moderne, das bisher kaum im Fokus ist: „Seit zwei Jahrhunderten verschieben fossile Rohstoffe die Grenzen des technologisch Mach- und Erreichbaren und damit unser Verständnis von Wachstum, von Freiheit, unser Begehren.“ Gemeinsam mit Alexander Klose kuratiert Steininger eine Ausstellung zur Petromoderne am Kunstmuseum Wolfsburg und verfasst einen kulturwissenschaftlichen Erdöl atlas, aus dem auch das Bild auf dieser Seite stammt. „Ein Haus, in dem man sich 200 Jahre eingerichtet hat, kann man nicht einfach so verlassen“, sagt er. „Es braucht eine Inventur.“

Mit einer solchen Inventur ist am Max-Planck-Institut für Wissenschaftsgeschichte eine kleinere Gruppe innerhalb einer größeren befasst. Zur kleineren gehören außer dem Medien- und Kulturtheoretiker Benjamin Steininger die Ethnologin Gretchen Bakke und der Historiker Helge Wendt. Die größere heißt „Wissen im und über das Anthropozän“ und nimmt den von Menschen geprägten erdgeschichtlichen



FOTO: ARCHIV ROHSTOFF-GESCHICHTE

**„Seit zwei  
Jahrhunderten  
verschieben fossile  
Rohstoffe die Grenzen  
des technologisch  
Erreichbaren,  
und damit unser  
Verständnis von  
Wachstum, von Freiheit,  
unser Begehren.“**

BENJAMIN STEININGER



Erdölförderung anno 1932: Weil die Tanks der Förderanlage im niederösterreichischen Zistersdorf nicht für das ausströmende Öl reichten, leiteten die Arbeiter das übrige in provisorisch ausgehobene Gruben. Das Bild verdeutlicht, wie sehr sich der Umgang mit Erdöl in Europa geändert hat.

Abschnitt in einem breiten Bogen in den Blick. Dabei kooperiert sie mit dem Haus der Kulturen der Welt in Berlin, das seit 2012 mit Veranstaltungsreihen, Publikationen und Ausstellungen an Darstellung und Aufarbeitung all der Prozesse arbeitet, mit denen Menschen den Planeten machtvoll verändern. Das Max-Planck-Institut lädt dazu Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler ein, arbeitet an einem Anthropozän-Curriculum und an einer „transdisziplinären Wissens- und Bildungskultur“ mit und war zuletzt 2019 – auch mit Benjamin Steininger – an einem mehrmonatigen Veranstaltungs- und Forschungsprojekt am Mississippi beteiligt.

Historiker Helge Wendt hat sich jenen Rohstoff ausgesucht, der in Deutschland nach wie vor höchst präsent ist: die Kohle. Weltweit nimmt Wendt einen Prozess in den Blick, der ebenfalls eine Energiequelle war – jene von Wind, Wasser und Holz hin zu Braun- und Steinkohle. „Schon die Römer hatten Kenntnis von Steinkohle“, erklärt Wendt, „bis heute ist nicht wirklich bekannt, wofür sie diese nutzten.“ In größerem Stil, von China über Indien bis Europa, wurde Kohle ab dem 16. Jahrhundert gefördert; ziemlich zeitgleich, trotz kaum vorhandener globaler

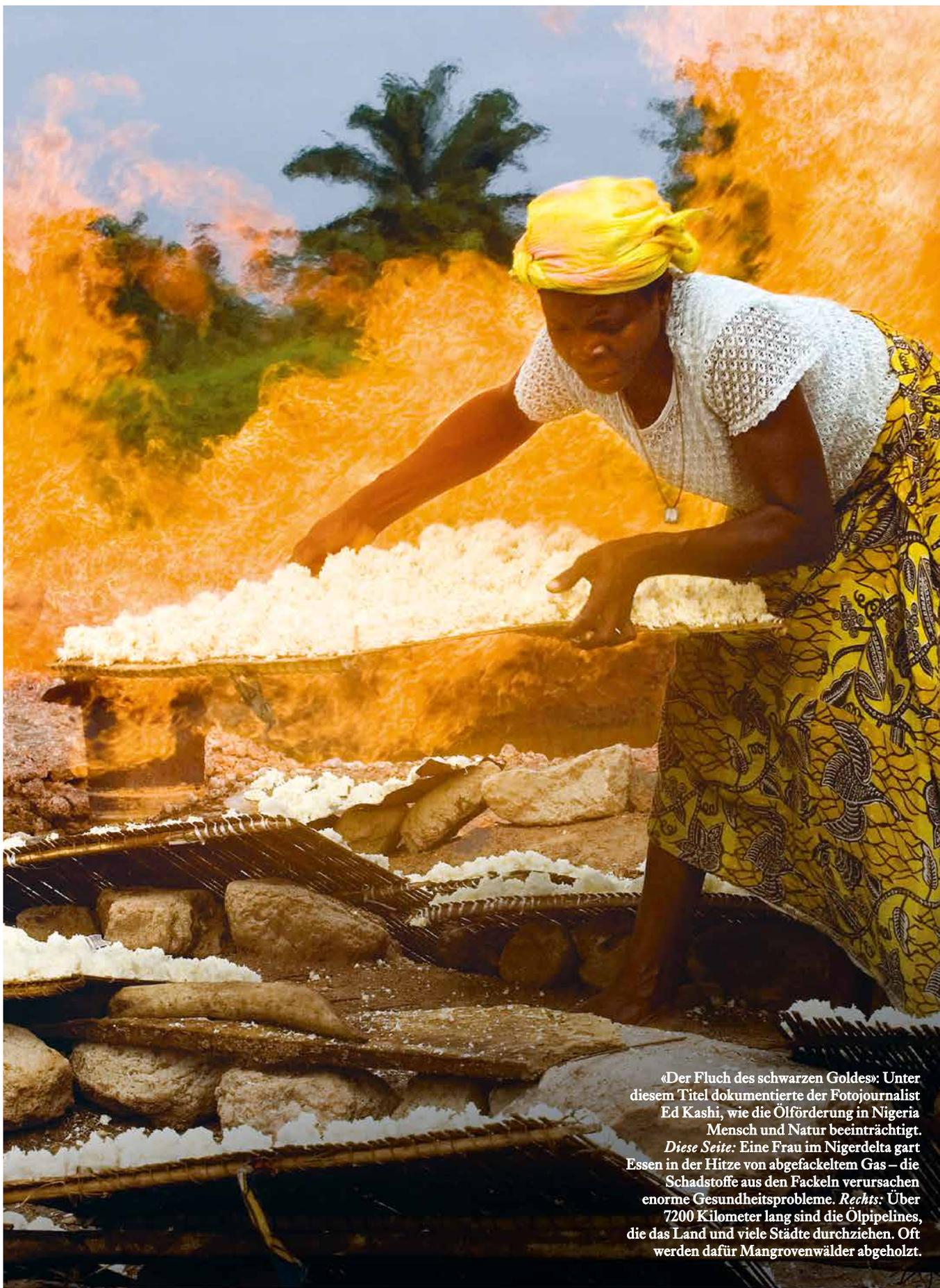
Wissensströme. Die größte Hürde, die es allerorten zu überwinden galt, war das Grundwasser. Erst als die Dampfmaschine erfunden war, mussten die Gruben nicht mehr mithilfe von Pferden mühsam entwässert werden. Die erste Dampfmaschine, erzählt Wendt, war dabei gar nicht die 1769 von James Watt erfundene, die sich weltumspannend in Schulbüchern findet. Schon in den ersten Jahren des 18. Jahrhunderts hatte ein gewisser Thomas Newcomen ein, wenn auch wenig energieeffizientes, Modell erfunden – das, bevor es bei der Grubenentwässerung zum Einsatz kam, erst einmal bei der Wasserversorgung der englischen Königsfamilie half.

## Es gibt oft gegenteilige Entwicklungen zur selben Zeit

Mehr als Anekdoten sammelt Wendt Wissen: über Verbrennungstemperaturen und Lagerungseigenschaften verschiedener Kohlearten ebenso wie über ihre Anwendung, etwa durch Verkokung. Diese löst störende Schwefel- und Phosphatbestandteile aus der Kohle und lässt Koks entstehen, mit dessen Hilfe im 19. Jahrhundert in großem Rahmen Metallhütten entstanden und damit die deutsche Stahl- und später die Autoindustrie. Noch interessanter sei, „sich all die Neben- und Abfallprodukte anzuschauen, die zu Industrien führten, an die wir kaum denken, wenn wir über Kohle sprechen“. Denn bei der Verkokung entstand auch Leuchtgas, von dem man entdeckte, dass es Fabriken, Wohnungen und Straßen erhellen kann; Steinkohlenteer legte den Grundstein für die Farben- und Pharmaindustrie. Auch das Akronym BASF steht, aus der Öffentlichkeit weitestgehend verschwunden, für „Badische Anilin- & Soda-Fabrik“ – Anilin ist ein Nebenprodukt der Kohleverarbeitung.

Von all diesen gleichsam verborgenen Kohlenutzungen ausgehend, rollt Helge Wendt das Feld sozusagen rückwärts auf und fragt, was jeweils an deren Stelle treten könnte. Und, daraus folgend: „Kann sie allerorten ersetzt werden? Auf was können, sollten wir verzichten? Und ist – parallel zu der Energiequelle hin zur Kohle – denkbar, dass auch die heutige Wende hin zu erneuerbaren Energien zu nützlichen Nebenprodukten führt?“

Ebenso wichtig wie der Blick auf die zentralen Rohstoffe der modernen Kultur und Geschichte sei der Fokus auf die chemischen Prozesse, die aus ihnen resultieren, erklärt Benjamin Steininger. Dementsprechend ist seine Forschung sowohl am Max-Planck-Institut für Wissenschaftsgeschichte angesiedelt als auch am Exzellenzcluster UniSysCat an der Technischen Universität Berlin, welcher sich dem Beitrag der Katalyse zu einer nachhaltigeren Chemieindustrie verschrieben hat.



FOTOS: ED KASHI/VII/LAIF

«Der Fluch des schwarzen Goldes»: Unter diesem Titel dokumentierte der Fotojournalist Ed Kashi, wie die Ölförderung in Nigeria Mensch und Natur beeinträchtigt. *Diese Seite:* Eine Frau im Nigerdelta gart Essen in der Hitze von abgefackeltem Gas – die Schadstoffe aus den Fackeln verursachen enorme Gesundheitsprobleme. *Rechts:* Über 7200 Kilometer lang sind die Ölpipelines, die das Land und viele Städte durchziehen. Oft werden dafür Mangrovenwälder abgeholzt.



Abhängig von Kohle und Öl:  
Auch in der chemischen Industrie  
bräuchte es eine Wende hin  
zu nachhaltigen Stoffkreisläufen.



„Unsere Geschichte wird – im Fall von Erdöl – nicht von einem schwarzen Naturstoff bestimmt. Sondern von einem Stoff, der durch chemische Reaktionen in unser ganzes Leben eingesickert ist“, erklärt Steininger. In Deutschland, einem Land, in dem es kaum Rohstoffe, aber eine immens starke chemische Industrie gibt, gelte das insbesondere. Wenn es für eine erfolgreiche Energiewende die Sozial- und Geisteswissenschaften braucht – wäre es dann nicht gut, wenn sich das in der chemischen Forschung herumspräche? „Doch“, antwortet Steininger, „denn das würde bedeuten, dass sie diese Langzeitwirkungen von vornherein einbezieht und energetisch wie stofflich in nachhaltigen Kreisläufen denkt. Das wäre etwas radikal Neues.“

---

## AUF DEN PUNKT GEBRACHT

Die letzte Energiewende, bei der Wasser, Wind und Holz von der Kohle abgelöst wurden, zeigt, dass eine solche Wende viele Nebeneffekte hat.

Heute bilden Kohle und Erdöl nicht nur eine wichtige Energiequelle, sondern auch die Basis für zahllose chemisch erzeugte Stoffe und Materialien. Dementsprechend bräuchte es auch in der chemischen Industrie eine Neuorientierung.

Auf die aktuelle Energiewende wirken neben der Politik auch Faktoren wie Kultur, Moral und Überzeugungen ein.

---

Innerhalb der Max-Planck-Gesellschaft immerhin gibt es dafür seit einigen Jahren Ansätze. Regelmäßig führen Wissenschaftler der Max-Planck-Institute für Wissenschaftsgeschichte und für Chemische Energiekonversion ihre Perspektiven zusammen und arbeiten an gemeinsamen Agenden. Kurz nach der Auftaktveranstaltung gingen die Direktoren Jürgen Renn (Wissenschaftsgeschichte) und Robert Schlögl (Chemische Energiekonversion) im April 2017 mit einem gemeinsamen Manifest zur Energiewende an die Öffentlichkeit. Darin heißt es mit einer für Wissenschaftler ungewöhnlichen Deutlichkeit: „Klima- wie geopolitisch ist jetzt der richtige Zeitpunkt, um einen massiven Systemumbau in Angriff zu nehmen.“

Heute, bald drei Jahre später, ist zumindest der Ausstieg aus der Kohle terminiert. Nach jahrelangen zähen Verhandlungen gelang es bei besagtem Kohlegipfel im Bundeskanzleramt, einen Termin für das Ende der innerdeutschen Förderung zu beschließen: 2038. Viel zu spät, sagen allerdings – in heute nicht mehr so ungewohnter Deutlichkeit – zahlreiche Klimawissenschaftler.

Eine gute Nachricht ist: Es gibt viele Mut machende Ansätze für die nachhaltigere Nutzung von Ressourcen. Darauf weist die Ethnologin Gretchen Bakke hin, die über eine Gastprofessur der Humboldt-Universität zu Berlin in das Anthropozän-Projekt eingebunden ist. Die in den USA zuletzt zu gewissem Ruhm gelangte Wissenschaftlerin zog es erst jüngst gezielt nach Deutschland – und damit an einen Ort,

an dem Klimaforschung einen hohen Stellenwert hat. Bis 2018 forschte sie im kanadischen Quebec; zuletzt schrieb sie ein Buch, das Bill Gates auf seiner Top-5-Bücherliste notierte: „The Grid“, das Netz, gemeint ist das Stromnetz in den USA. Neben der Feststellung, dass dieses von der erstaunlichen Zahl von 3600 Versorgungsunternehmen (des-)organisiert ist, brachte Bakke Erkenntnisse mit, die ihr nun in Europa zugutekommen. Eine zentrale ist: Es gibt viele, oft gegenteilige Entwicklungen zur selben Zeit – die nicht immer analog zu gängigen Erwartungen verlaufen. Das sonnenreiche Florida zum Beispiel verfügt über fast keine erneuerbaren Energien – während sich das strikt republikanische Iowa zu 50 Prozent aus Windenergie versorgt. Bakke: „Mich interessiert, wann wo Wandel passiert: Welche Kultur, welche Werte, welche Anreize fördern oder verhindern Transformation?“

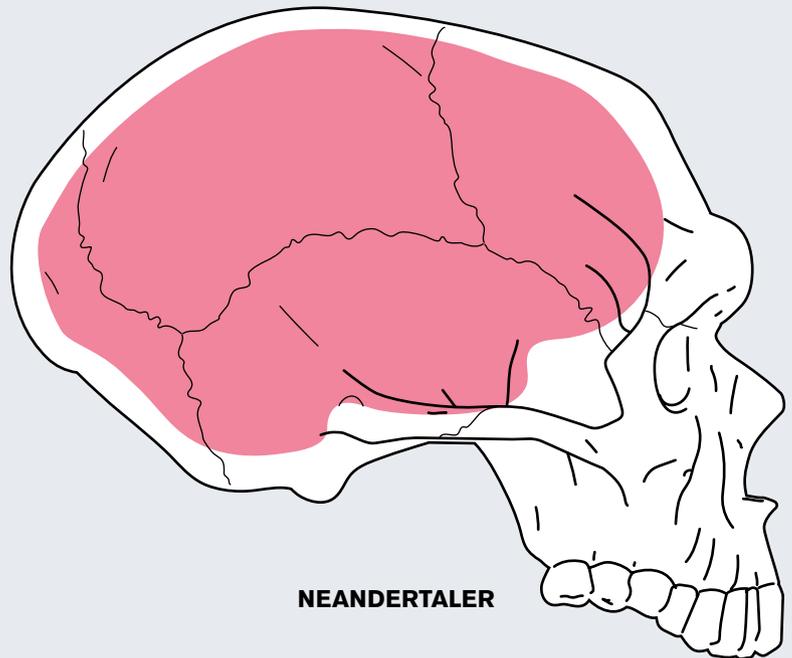
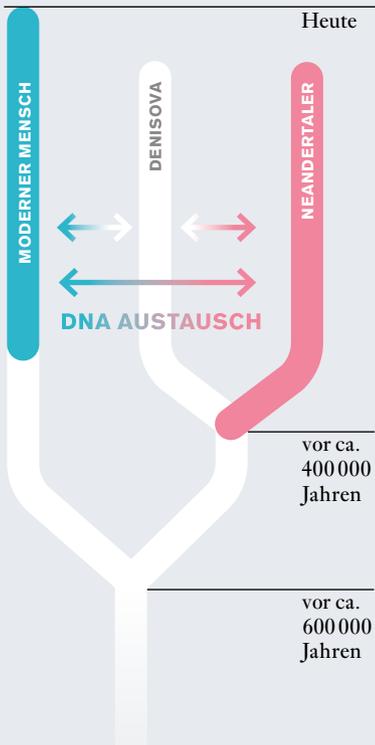
Dafür macht sie sich auf die Suche nach Gesprächspartnern, in Politik und Wissenschaft sowie in der Zivilgesellschaft; sie beschäftigt sich aber auch mit Fragen, die man, wie sie sagt, „immer öfter auch im Fahrstuhl mithört“: Warum nutzen Menschen das Auto statt der Bahn, die Bahn statt des Autos, das Flugzeug statt der Bahn? Schon dass es diese Gespräche gibt, bedeutet Wandel, erklärt sie: „Es gibt immer Pioniere, und Bereiche, in denen es scheinbar – noch – nicht vorangeht.“ Ein Beispiel dafür, was Pioniertum bewirken kann, hat sie ebenfalls aus den USA mitgebracht: „Die Sonne als Quelle für Energie zu nutzen, galt dort noch vor zehn Jahren als absurd – etwas für Hippies oder für Deutsche. Heute verbreitet sich die Solarenergie auch dort, langsam, aber stetig.“

Die Ethnologin weist darauf hin, dass es im Grunde nicht um eine, sondern um zwei Energiewenden geht – eine hin zu erneuerbaren und eine weg von fossilen Energien. Das wird spätestens deutlich, wenn sie sich mit weniger offensichtlichen Innovationen befasst, etwa mit der klimafreundlicheren, weil weniger CO<sub>2</sub> freisetzenden Produktion von Zement und Stahl. „Technologisch ist das möglich“, sagt sie, „doch damit solche Produkte marktfähig werden, sind politische Ansätze notwendig – auch solche, die bisherige Techniken unattraktiv machen.“ Nun brauchen politische Lösungen, siehe Kohlekompromiss, immer Zeit – ebenso wie der Bau von Fabriken, die Umstellung von Produktionen. Insofern fällt Bakkes Resümee so aus: „Wandel gibt es. Ob er das ausreichende Tempo hat, kann ich nicht sagen.“

<https://www.mpg.de/podcasts/biooekonomie>

←

# DER NEANDERTALER IN UNS

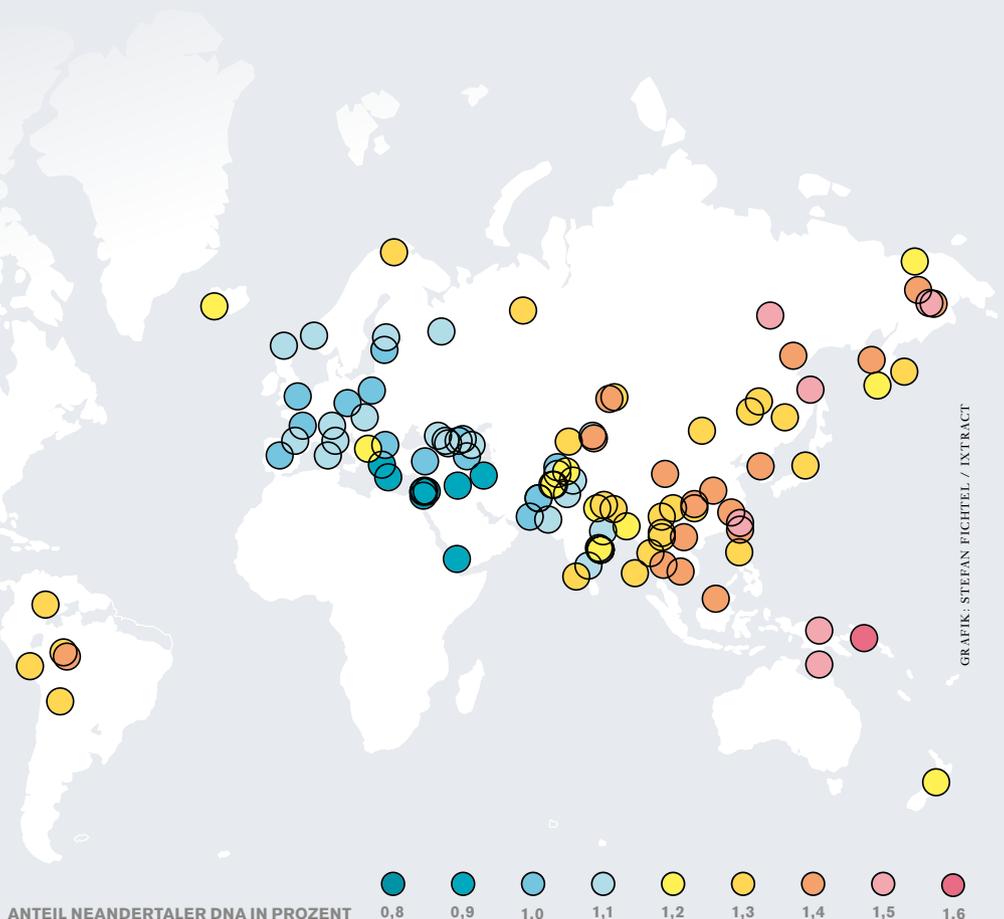


## 46 BUSCH STATT BAUM

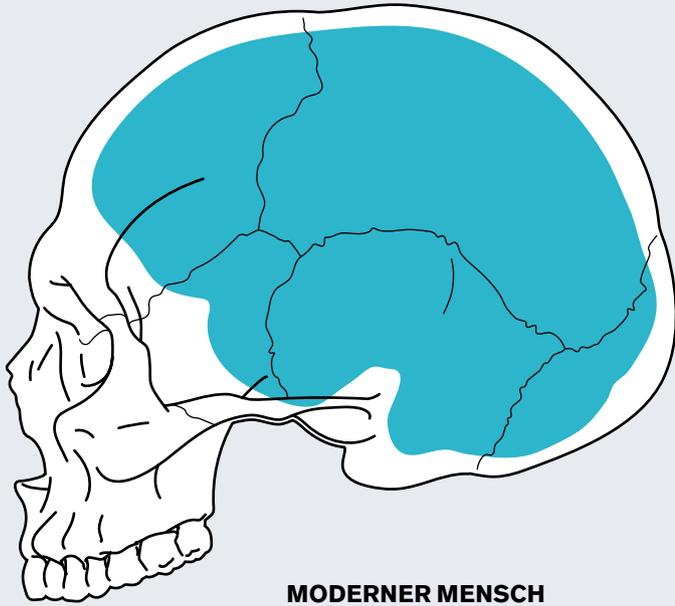
Der Stammbaum des Menschen gleicht weniger einem Baum mit einem einzelnen Stamm als vielmehr einem Busch mit vielen Stämmen. Jahrtausendlang existierten mehrere Abstammungslinien gleichzeitig, die sich mehrmals miteinander vermischt haben.

## SPUREN STEINZEITLICHER BEGEGNUNGEN

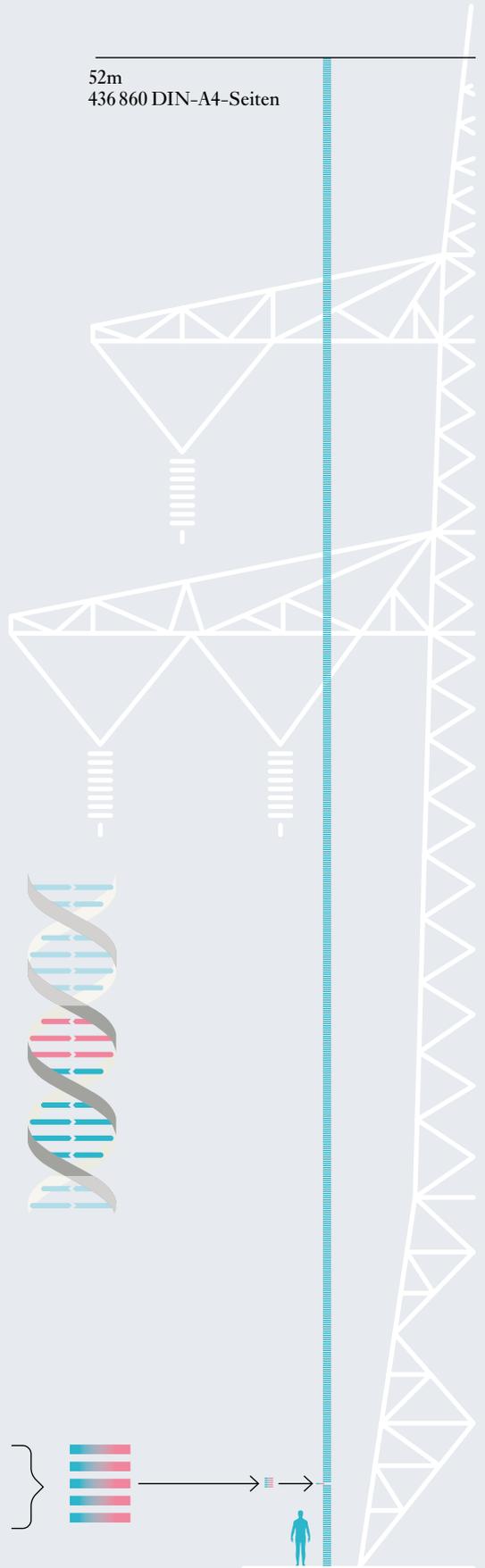
Da Neandertaler nie in Afrika gelebt haben, konnten sie sich nicht mit den in Afrika entstandenen modernen Menschen nicht vermischen. Erst als moderne Menschen den afrikanischen Kontinent verließen, begegneten sie Neandertalern im Nahen Osten und in Europa und pflanzten sich mit ihnen fort. Unterschiedlich starke genetische Spuren dieser Begegnungen finden sich heute noch im Erbgut der Menschen außerhalb Afrikas.



GRAFIK: STEFAN FICHTEL / INTRACT



52m  
436 860 DIN-A4-Seiten



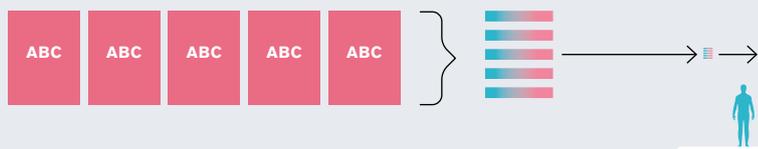
### DAS ERBE DER NEANDERTALER

Neandertaler und moderne Menschen haben Erbgut miteinander ausgetauscht: Durchschnittlich zwischen ein und zwei Prozent der DNA eines heute lebenden Menschen stammen vom Neandertaler. 40 Prozent des gesamten Neandertaler-Erbguts haben bis heute im modernen Menschen überdauert. Die vom Neandertaler stammenden Gene beeinflussen die Entwicklung und Funktion vieler verschiedener Organe. Eine Ausnahme bilden die Hoden – dort sind Neandertalergene schwächer aktiv.



### FREMDE BUCHSTABEN IM GENETISCHEN CODE

Der genetische Code des Menschen besteht aus 3,2 Milliarden Buchstaben. Dies entspricht 436 860 DIN-A4-Seiten. Aufeinandergestapelt ergäbe dies 52 Meter, etwa die Höhe eines Starkstrommastes. Die Vermischung mit dem Neandertaler hat zur Veränderung von 31 000 Buchstaben im menschlichen Erbgut geführt. Zusammengefasst auf DIN-A4-Seiten ergäbe dies eine Höhe von 0,6 Millimeter.



# DIE PHILOSOPHIN DES URPRALLS

Die mythische Vorstellung von einem zyklischen All, das im Weltenbrand endet und wiederersteht, fasziniert Menschen seit jeher. Die moderne Urknalltheorie mit einem ewig expandierenden Universum schließt diese Möglichkeit aus. Doch ist hier das letzte Wort bereits gesprochen? Am Max-Planck-Institut für Gravitationsphysik in Hannover geht Anna Ijjas dieser fundamentalen Frage nach.

TEXT: THOMAS BÜHRKE

Der Kirchenlehrer Augustinus fragte sich schon vor mehr als 1600 Jahren, was Gott vor der Erschaffung der Welt getan haben mag. Seine Antwort war so einfach wie überraschend: „Bevor Gott Himmel und Erde schuf, tat er nichts.“ Das passt gar nicht einmal so schlecht zur Urknalltheorie, mit der Kosmologen den Beginn des Universums beschreiben. Vor dem Big Bang gab es nichts, weder Raum noch Zeit. Mit den heutigen physikalischen Kenntnissen lassen sich sämtliche Vorgänge in dem heißen Feuerball beschreiben, die sich ab etwa einer milliardstel Sekunde nach dem Urknall ereignen haben. Doch was davor geschah, das entzieht sich unserer Kenntnis. Und der Urknall selbst? Eine „Singularität“, in der die beiden Säulen der modernen Physik – Relativitätstheorie und Quantentheorie – versagen.

Was aber, wenn es gar keinen Urknall gab? Könnte unser Universum nicht aus einem Vorläufer hervorgegangen sein? Das ist ein altes

kosmologisches Modell, dem Anna Ijjas am Max-Planck-Institut für Gravitationsphysik (Albert-Einstein-Institut) in Hannover neues Leben einhaucht.

Man muss schon gut zu Fuß sein, wenn man der quirligen Forscherin durch die Gänge des Instituts bis zu ihrem Büro folgen will. Das ist noch karg eingerichtet, ein Laptop auf dem Tisch, viel mehr nicht. Der Hausmeister schaut zwischen durch vorbei, um etwas zu kontrollieren. Anna Ijjas ist erst seit Anfang September 2019 in Hannover. Sie gehört zu den ersten neun Leiterinnen einer Lise-Meitner-Exzellenzgruppe, welche die Max-Planck-Gesellschaft ins Leben gerufen hat. Gegen fast 300 Kandidatinnen aus 42 Ländern hat sie sich durchgesetzt.

Mit dem Lise-Meitner-Programm will die Max-Planck-Gesellschaft nicht nur die Frauenquote steigern, sondern ganz gezielt zukünftige Max-Planck-Direktorinnen suchen. Spätestens nach fünf Jahren wird ihnen die Teilnahme an einem sogenannten Tenure-Track-Verfahren für eine W2-Professur garantiert, bei positiver Evaluation erhalten sie die W2-Position sowie die Leitung der Forschungsgruppe unbefristet. Das Auswahlverfahren war hart, und die letztendliche Entscheidung für Anna Ijjas offenbart auch Einblicke in die heutige Situation der Grundlagenforschung. Die Wissenschaftlerin war zuvor mehrere Jahre an der Universität von Princeton. „In den USA ist Forschung sehr konservativ“, erzählt sie. Junge Nachwuchswissenschaftler folgen dort oftmals den ausgetretenen Pfaden. Ijjas rechnet es dem Auswahlkomitee des Lise-Meitner-Exzellenzprogramms hoch an, dass es mit ihr bewusst eine Kandidatin ausgewählt hat, die eher unkonventionell daherkommt. →

# BESUCH BEI

---

ANNA  
IJJAS



FOTO: FRANK VINKEN

49

Unkonventionell: Mit einem eher außergewöhnlichen Ansatz erforscht Anna Ijjas am Max-Planck-Institut für Gravitationsphysik die Anfänge des Universums.

Dabei schien doch auf dem Gebiet der Kosmologie – also der Wissenschaft von der Entstehung und Entwicklung des Weltalls – bereits vieles geklärt. „In den 1970er- bis 1990er-Jahren haben die Theoretiker sehr große Fortschritte gemacht“, erzählt Anna Ijjas. Mit der Stringtheorie schien man eine umfassende Beschreibung sämtlicher Naturkräfte gefunden zu haben. Und die Hypothese des inflationären Universums versprach alle Probleme, welche die damalige Urknalltheorie noch in sich barg, zu lösen.

Die Inflation (von *inflatio* für Aufblähen) ist heute fester Bestandteil der Kosmologie. Sie beschreibt eine extrem schnelle Expansion des Alls unmittelbar nach dessen Geburt. Nach dieser Phase setzte sich die weitere Ausdehnung etwa mit der

Der Weg zu dieser Einsicht war lang und verlief für die Forscherin keineswegs geradlinig. In ihren Wünschen war sie aber immer zielstrebig. Anna Ijjas kam 1985 in einem kleinen Dorf in Ungarn zur Welt. Ihr Vater war Arzt und kannte einen Deutschen, der Privatunterricht gab. So begann Anna schon mit fünf Jahren die deutsche Sprache zu lernen. Während ihrer Schulzeit in Budapest ging sie im Rahmen eines Schüleraustauschs für zwei Monate nach Bayern. Nach dem Abitur war ihr klar, dass sie nicht in Ungarn studieren wollte. Dem Wunsch der Eltern nach einem Jura-Studium mochte sie auch nicht folgen. Stattdessen schrieb sie sich in München an der Ludwig-Maximilians-Universität für Mathematik und Religion mit dem Ziel Lehramt ein. Später kam auch Physik dazu.

## „Es wäre Größenwahn zu behaupten, wir wüssten schon fast alles. Im Gegenteil – wir brauchen einen Umbruch.“

noch heute herrschenden Geschwindigkeit fort. „Nicht wenige Theoretiker sind mittlerweile davon überzeugt, dass wir den großen Antworten schon sehr nahe sind und nur noch ein paar Details klären müssen“, sagt Ijjas. Sie selbst sieht das ganz anders! Zum einen wissen wir über 95 Prozent des Universums so gut wie nichts: Dunkle Materie und Dunkle Energie sind große Geheimnisse. Die Stringtheorie vermag immer noch keine konkreten Vorhersagen zu treffen, die sich durch astronomische Beobachtungen oder physikalische Experimente prüfen lassen. Und die Theorie der Inflation hat so viele dehnbare Parameter, dass man sie an fast alle Beobachtungen anpassen kann. „Andrei Linde, einer ihrer Begründer, pflegt zu sagen, es werde nie ein Beobachtungsergebnis geben, mit dem sich die Inflationstheorie widerlegen lasse“, sagt Ijjas. „Es wäre Größenwahn zu behaupten, wir wüssten schon fast alles. Im Gegenteil – wir brauchen einen Umbruch.“

Nach dem Staatsexamen wandte Ijjas sich intensiver den Naturwissenschaften zu und promovierte in Philosophie mit einer Arbeit, deren Titel an ein Bonmot Einsteins angelehnt ist: „Der Alte mit dem Würfel: Metaphysik in der Quantenmechanik“. Ein interdisziplinärer Dialog zwischen Naturwissenschaften und Theologie sei möglich und sinnvoll, schreibt sie in ihrer Arbeit. Anfangs hatte sie versucht, beide Bereiche zusammenzubringen, vor allem in Gesprächen mit Freunden. Heute sieht sie darin zwei Sichtweisen, die wenig miteinander zu tun haben: „Naturwissenschaften und Glauben schließen sich nicht aus“, sagt sie. „Ich habe aber keinen naiven Glauben.“

Zu dieser Zeit wusste sie nicht, ob sie gut genug für die physikalische Forschung war. Doch dann ermutigte sie ihr Mentor Harald Lesch. Mit einem Stipendium versehen, ging sie in die USA und suchte sich dort gezielt zwei Wissenschaft-

—>



Blick zum Himmel:  
In der chilenischen  
Atacamawüste entsteht  
das Simons-Observa-  
torium, an dem Anna  
Ijjas beteiligt ist. Die  
Teleskope könnten die  
Frage klären, ob wir in  
einem zyklischen Weltall  
leben oder nicht.



FOTOS: DEBRA KELLNER / SIMONS OBSERVATORY

ler als Mentoren aus, die für ihre kreativen Ideen bekannt sind. Einer von ihnen, Paul Steinhardt, hatte maßgeblich zur Entwicklung der Inflationstheorie beigetragen. Im Jahr 2002 überraschte Steinhardt seine Kollegen mit einer Alternative, die ein zyklisches Universum annimmt. Dieses ekpyrotische Universum vermeidet einen Urknall aus dem Nichts ohne Raum und Zeit. Mit dem Begriff „Ekpyrosis“, zu Deutsch etwa „Weltenbrand“, erinnerte Steinhardt an alte Mythen vom Ende der Welt in einem feurigen Untergang und dem neuerlichen Erstehen aus der Asche.

## Die Inflationstheorie benötigt sehr spezielle Anfangsbedingungen

Seitdem haben sich bei Anna Ijjas die Zweifel an der Inflationstheorie verstärkt. Die hat ihrer Meinung nach zwei entscheidende Schwächen: Zum einen benötigt sie sehr spezielle Anfangsbedingungen; zum anderen führt die Theorie zu der Behauptung, dass unendlich viele Universen mit je unterschiedlichen Eigenschaften entstehen. In einem davon leben wir.

„Was mich daran stört, ist, dass wir dann nicht erklären können, woher die Eigenschaften kommen“, sagt die Max-Planck-Forscherin. Alles ist möglich, und die Physik kann nicht einmal vorhersagen, was wahrscheinlich ist. Diese Beliebigkeit mag Ijjas nicht akzeptieren. Ihr Anspruch an die Physik ist ein anderer: „Ich will wissen, warum die Welt so ist, wie sie ist.“ Damit folgt sie Albert Einsteins hintergründiger Frage: Hatte Gott eine Wahl, als er die Welt erschuf?

Mit Problemen der Inflationstheorie hat sich Ijjas in ihrer zweiten Dissertation beschäftigt und darin am Schluss eine neue Klasse zyklischer Modelle untersucht. „Diese benötigen weniger Feinabstimmung“, resümiert sie in ihrer Arbeit. Und sie umgeht noch ein anderes ungelöstes Problem der Urknalltheorie. Die Entstehung des Alls aus einer Quantenfluktuation lässt sich mit den der Wissenschaft heute bekannten Gesetzen der Physik nicht beschreiben. Denn sowohl die Relativitätstheorie als auch die Quantentheorie versagen bei diesem Zustand. Um diesem Dilemma zu entgehen, suchen die meisten Theoretiker aus diesem Grund nach einer Vereinigung der beiden Theorien: einer Quantengravitation. Doch alle Versuche dieses

mittlerweile 40 Jahre andauernden Unterfangens sind bisher fehlgeschlagen – inklusive Stringtheorie. Daher probieren die Forscher heute unterschiedliche Modelle aus. „Eine Quantengravitation ist zwar für einige Probleme der Physik unerlässlich“, sagt Anna Ijjas, „aber unser Ansatz des zyklischen Universums benötigt sie nicht.“

In allen zyklischen Modellen ging unsere Welt aus einem Übergangsstadium hervor: Ein vorheriges Universum hatte sich langsam zusammengezogen und wieder ausgedehnt. Der Urknall war dann ein Urprall oder, wie die Kosmologen auf Englisch sagen: Big Bounce anstelle von Big Bang. „In diesem Moment waren Raum und Zeit in einem Zustand, der sich mit den uns bekannten Gesetzen noch erfassen lässt“, sagt Ijjas. „Um den Urprall zu beschreiben, brauchen wir nur die Einführung einer neuartigen Wechselwirkung zwischen Materie und Raumzeit.“

In den vergangenen drei Jahren konnte die Kosmologin neue, wichtige Ergebnisse vorweisen. In einer ihrer Berechnungen zog sich das Vorgängeruniversum im Urprall bis auf  $10^{-25}$  Zentimeter zusammen. Das ist nur ein Billionstel des Protonendurchmessers – und lässt sich dennoch mit der heutigen Physik beschreiben. Dieses Modell erklärt auch alle Probleme der ursprünglichen Urknalltheorie, für deren Lösung die Inflation eingeführt wurde. Das Urprallszenario von Anna Ijjas und ihren Kollegen kommt ganz ohne diese Hypothese aus. Gleichzeitig bezieht es die Dunkle Energie mit ein, womit speziell Stringtheoretiker große Probleme haben. So gesehen, hat das zyklische Universum viele Vorteile. Aber: Beschreibt es die Realität? Und wie können wir das feststellen?

Im Rahmen ihrer ersten Doktorarbeit war Ijjas zu der Erkenntnis gekommen, dass viele Physiker mehr ihren persönlichen Präferenzen und ihrer Weltanschauung folgen, als sie sich selbst eingestehen würden. Die schon von Einstein beschworene Intuition spielt eine große Rolle. „Das trifft auch auf mich zu“, gesteht sie. „Dennoch müssen wir am Ende empirisch eine Entscheidung treffen können, ob eine Theorie falsch oder richtig ist.“ Hier hält es die Wissenschaftlerin mit Karl Popper. Nach dessen Erkenntnisphilosophie lassen sich Theorien streng genommen experimentell gar nicht beweisen, sondern nur widerlegen. In einem Selektionsprozess setzen sich diejenigen Theorien durch, die sich nicht widerlegen lassen. „Die Unzufriedenheit mit der Inflationstheorie in dieser Hinsicht hat mich auf die Alternative gebracht“, sagt Anna Ijjas.

Ende und Anfang:  
Nach dem Urprallmodell ging das heutige  
Universum aus einem Vorgänger hervor.  
Der zog sich am Schluss bis auf ein  
winziges Volumen zusammen,  
aus dem in einem Umschwung unser  
Kosmos entstand.

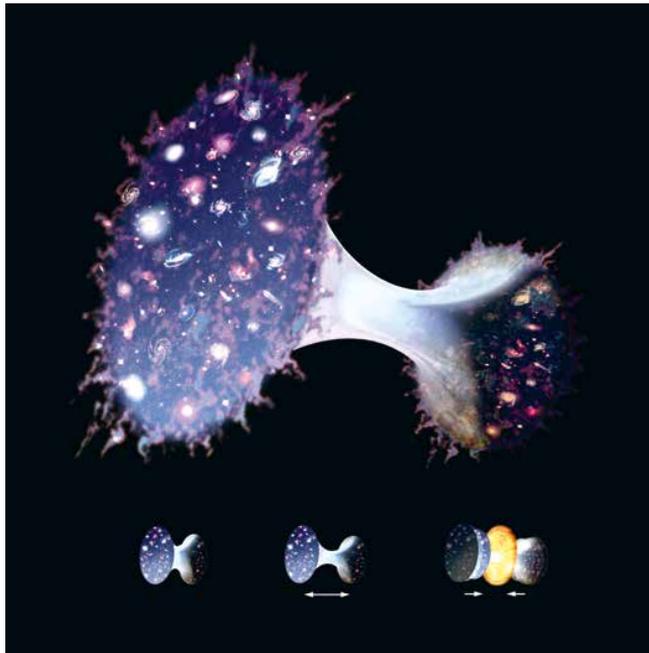


ILLUSTRATION: MIKKEL JUUL JENSEN / SCIENCE PHOTO LIBRARY

## Sie braucht eine Strategie, um auf Tagungen wahrgenommen zu werden

Auf Tagungen hat sie es mit dieser „abseitigen“ Kosmologie nicht immer leicht – erst recht nicht als Frau, die zudem auch noch jünger aussieht, als sie ist. Viele nahmen sie oft nicht ernst. „Sie dachten, ich sei eine kleine Studentin, die ihnen nichts zu sagen habe“, erinnert sie sich. Sie hat keine Probleme mit sachlicher Kritik, musste aber eine Strategie entwickeln, um überhaupt wahrgenommen zu werden. „Ich will nicht den anderen das Gefühl vermitteln, dass sie mit ihrer Forschung falschliegen, sondern ich will lediglich meinen Standpunkt darlegen, ohne einen alleinigen Anspruch auf die Wahrheit zu erheben.“

Anna Ijjas schätzt eine sachliche Diskussion und respektiert andere Meinungen. Sie lebt für die Wissenschaft, für Hobbys bleibt kaum Zeit. Tägliches Joggen, ab und zu der Besuch einer Oper oder eine Bergwanderung, das war's im Wesentlichen. Violine spielen hat sie gelernt, findet jetzt

aber keine Zeit mehr dafür. Einen Fernseher besitzt sie nicht, nach Feierabend rechnet sie häufig zu Hause weiter – am zyklischen Universum. Und dieses Modell bietet tatsächlich nach Popper'scher Forderung die Möglichkeit der Falsifizierung. Die Inflation war energetisch so heftig, dass in dieser Phase Gravitationswellen entstanden sein müssen. Der Umschwung im zyklischen Universum verlief dagegen eher sanft, ohne schwere Erschütterungen der Raumzeit. In der kosmischen Hintergrundstrahlung müssten sich Spuren dieser Anfangsphase noch nachweisen lassen.

Diese überall am Himmel beobachtbare Hintergrundstrahlung gilt als älteste Kunde im Universum. Sie entstand etwa 380 000 Jahre nach der Geburt des Alls und weist dezente Schwankungen auf, die als Keimzellen für die weitere Entwicklung zu Galaxien und Galaxienhaufen gelten. Die von der Inflation ausgelösten Gravitationswellen müssten eine Polarisation – eine teilweise Ausrichtung der Wellen in der Hintergrundstrahlung – verursacht haben. Im Frühjahr 2014 ging eine Meldung um die Welt, wonach Forscher mit einem Teleskop namens BICEP 2 genau diese Polarisation nachgewiesen haben woll-

→

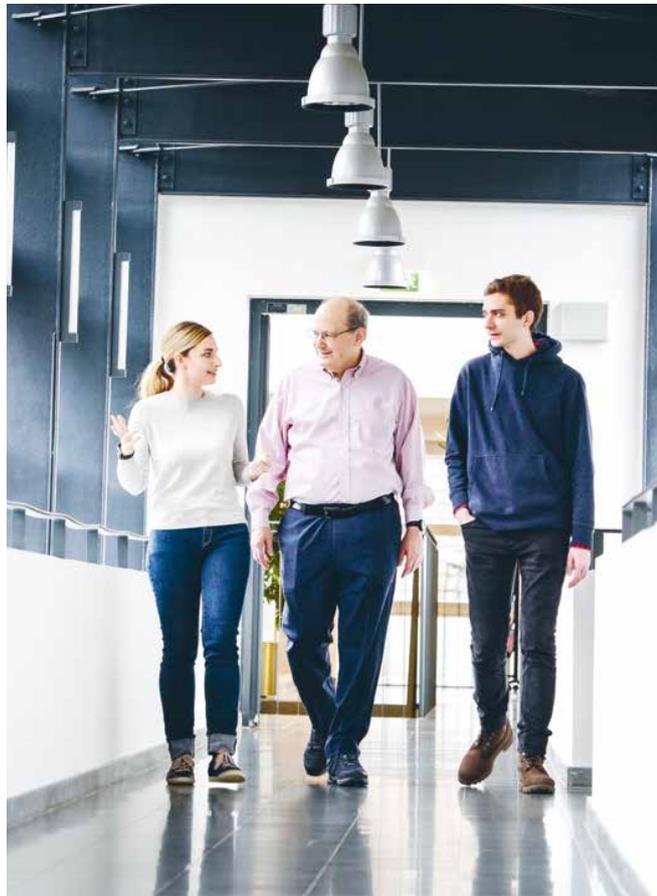


FOTO: FRANK VINKEN

Regel Austausch:  
Anna Ijjas im  
Gespräch mit dem  
Kosmologen Paul  
Steinhardt (Mitte)  
von der Princeton  
University und  
Roman Kolevatov,  
der dort  
Doktorand ist.

54

ten. Der Beweis für das inflationäre Universum schien erbracht. Doch genauere Analysen unter Einbeziehung von Daten des europäischen Weltraumteleskops Planck widerlegten das Ergebnis: Staub in der Milchstraße hatte die Polarisierung der Hintergrundstrahlung verursacht. Seitdem hat die Suche nach diesem Heiligen Gral der Kosmologie Fahrt aufgenommen.

Mit einem der neuen Teleskope, dem Simons-Observatorium in der chilenischen Atacamawüste, wird Anna Ijjas arbeiten. Finanziert wird das Projekt von dem amerikanischen Milliardär Jim Simons, den Ijjas mit ihren jüngsten Ergebnissen zur Berechnung des Urpralls unlängst davon überzeugen konnte, ihre Forschung auch nach dem Wechsel an das Max-Planck-Institut für Gravitationsphysik weiter zu unterstützen – eine einmalige Ausnahme, da die Simons-Stiftung sich eigentlich auf die Förderung von Projekten in den USA beschränkt. „Jim ist aus philosophischen Gründen ein Anhänger des zyklischen Universums“, sagt Ijjas.

Das Simons-Observatorium könnte die Frage nach der Polarisierung innerhalb der kommenden fünf bis zehn Jahre lösen. Was, wenn sie tatsächlich gefunden und damit die Vorhersage des zyklischen

Universums widerlegt würde? „Nach Popper wäre es der ideale Fall, denn dann wissen wir zumindest, wie das Universum *nicht* beschaffen ist, und hätten auch viel gelernt“, sagt Ijjas. Sie müsste sich dann neuen Ideen zuwenden – damit hätte sie jedoch keine Probleme.

Zu der schwierigen Frage nach Gottes Tun vor Erschaffung der Welt zitiert der Kirchenlehrer Augustinus übrigens noch einen Kollegen, der darauf spöttisch geantwortet hatte: „Höllern bereitete er für die, die so hohe Geheimnisse ergründen wollen.“ Bleibt für Anna Ijjas zu hoffen, dass sich der anonyme Philosoph geirrt hat ...



# 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!



Die Fruchtfliege *Drosophila melanogaster* wird nur zwei bis drei Millimeter groß. Mit einem Pinsel können Wissenschaftler Tiere mit unterschiedlichen Merkmalen voneinander trennen.



56

FOTO: FRANK VINKEN

# DER METHUSALEM-COCKTAIL

TEXT: KLAUS WILHELM

Das ewige Leben können Linda Partridge und ihr Mitarbeiter Sebastian Grönke am Kölner Max-Planck-Institut für Biologie des Alterns nicht versprechen – aber zumindest ein gesünderes Leben. An Fruchtfliegen und Mäusen haben die Forscher bereits ganz erstaunliche Erkenntnisse über das Altern gewonnen, die auch uns Menschen zugutekommen werden.

Für die Fruchtfliegen von Sebastian Grönke sind die Röhrcchen mit dem Kürzel „Rapa“ ein Sechser im Lotto – wer es dort hineingeschafft hat, ist auch im hohen Fliegenalter von zwei Monaten noch fit wie ein Turnschuh. Die Abkürzung steht für „Rapamycin“ – die wahrscheinlich vielversprechendste Anti-Aging-Substanz unserer Zeit.

Bekommen die Fliegen das eigentlich als Immunblocker nach Nierentransplantationen eingesetzte Rapamycin verabreicht, leben sie nicht nur deutlich länger – sie bleiben auch gesünder. Messen können das die Max-Planck-Forscher mithilfe eines speziellen Fitnesstests für Fliegen: „Mit Rapamycin im Futter bringen sie im Alter von 60 Tagen noch die gleiche

Leistung wie sonst nur im Jugendalter“, erklärt Grönke.

Zusätzlich zu einer täglichen Portion Rapamycin sind aber noch zwei weitere Medikamente im Futter: Lithium, bekannt als Stimmungsstabilisator zur Behandlung der Depression, sowie ein Wirkstoff namens Trametinib, der in der Therapie von Krebspatienten eingesetzt wird. „Der Dreiercocktail verlängert die übliche Lebensdauer der Fruchtfliegen um fast 50 Prozent“, erklärt Linda Partridge, die am Kölner Max-Planck-Institut die Abteilung „Biologische Mechanismen des Alterns“ leitet. Dank der Medikamente sind einige der Sechsbener vier Monate alt geworden – das höchste je durch die Gabe von Medikamenten erreichte Alter. Normalerweise ist für die Tiere zwischen zwei und drei Monaten Schluss.

Ergebnisse wie diese stimmen Partridge optimistisch, dass auch der Mensch bis ins hohe Alter weitgehend gesund bleiben kann. „Wir werden den Tod nicht abschaffen können“, sagt sie, „aber Krankheit und Gebrechlichkeit

im Alter können wir sicher verringern.“ Fast ein ganzes Forscherleben hat sie damit verbracht, das Altern von Zellen, Geweben und Organismen zu verstehen. Heute leitet sie Forscherteams am Max-Planck-Institut in Köln und am University College in London. Da sich viele Vorgänge im Körper über Artgrenzen hinweg ähneln, forschen die Wissenschaftler vor allem an Fliegen und Mäusen. „Die Zeit drängt, denn die Lebenserwartung wird in vielen westlichen Industrieländern weiter steigen“, sagt Partridge. Berechnungen zufolge werden etwa in Deutschland im Jahr 2060 mehr als zehn Millionen über 80-Jährige leben. Jedes fünfte Baby, das heute geboren wird, könnte 100 Jahre alt werden.

Gene spielen beim Altwerden lediglich eine Nebenrolle: „Ihr Anteil an der Lebenserwartung beträgt weniger als 20, vielleicht sogar weniger als zehn Prozent“, erklärt die Biologin. Eine wesentlich größere Bedeutung haben Umwelteinflüsse, das individuelle Verhalten sowie der gesellschaftliche und wirtschaftliche Status eines Menschen.



Gesundheitsschädliche Angewohnheiten wie Rauchen und Alkoholkonsum zum Beispiel verringern nachgewiesenermaßen die Lebenserwartung.

Experimente an unterschiedlichen Tierarten fördern immer neue Stellschrauben zutage, mit denen sich offenbar die biologische Uhr zurückdrehen lässt. So hat vor zwei Jahren ein Befund von Partridges Institutskollegen Dario Valenzano für Aufsehen gesorgt. Demnach leben Fische länger, wenn sie die Mikroorganismen aus dem Darm jüngerer Artgenossen fressen. Und amerikanische Kollegen haben das Blutplasma älterer Mäuse durch das Plasma jüngerer Tiere ausgetauscht und damit eine verblüffende Wirkung auf den Alternsprozess erzielt.

Bei vielen Tieren beeinflussen vor allem Bewegung und Ernährung das Tempo des Alterns. So leben Mäuse, die mit 60 Prozent ihres normalen Futters auskommen müssen, erheblich länger als ihre Artgenossen auf Standarddiät und bleiben gesünder. Auch für Affen ist die lebensverlängernde Wirkung einer Diät bei ausreichender Versorgung mit Vitaminen und Mineralien nachgewiesen. In den letzten Jahren keimte in Partridge und ihrem Team allerdings der Verdacht, dass möglicherweise nicht die geringere Kalorienzahl ein längeres und gesünderes Leben im Alter ermöglicht, sondern einzelne Komponenten in der Nahrung. Sind zu viele davon im Essen, sinkt dieser Überlegung zufolge die Lebenserwartung, und das Risiko von Alterserkrankungen steigt.

Im Labor weist Sebastian Grönke auf ein unscheinbares Regal mit Dutzenden Dosen. Darin enthalten: Chemikalien für das Futter der Fliegen. In einem langwierigen Prozess haben Partridges Mitarbeiter in London eine Fliegenahrung entwickelt, deren Zusammensetzung bis ins Kleinste festgelegt ist und sich deshalb nach Belieben verändern lässt. Auf diese Weise hat Grönke herausgefunden, welche Inhaltsstoffe

die Lebensdauer und Gesundheit im Alter positiv beeinflussen: Ein hoher Gehalt an Proteinen beziehungsweise Aminosäuren lässt die Fruchtfliegen früher sterben. Im Gegenzug legen die Insekten viele Eier. Umgekehrt werden die Fliegen älter, wenn sie Futter mit weniger Protein fressen. Der Preis: verringertes Wachstum und geringere Fruchtbarkeit.

Die Wissenschaftler wollten es aber noch genauer wissen. „Unsere Ergebnisse zeigen, dass nicht alle Aminosäuren gleich wichtig sind. Entscheidend für die Lebenserwartung und die Gesundheit sind essenzielle Aminosäuren wie Leucin, Isoleucin oder Valin“, erklärt Grönke. Diese kann der Körper nicht selbst herstellen, sie müssen deshalb mit der Nahrung aufgenommen werden. Essenzielle Aminosäuren regulieren den sogenannten TOR-Signalweg, der an wichtigen Alternsprozessen in Zellen beteiligt ist.

Bei Mäusen beobachteten die Forschenden das gleiche Phänomen. Aus einer Studie weiß man, dass geringere Mengen bestimmter essenzieller Aminosäuren sich auch beim Menschen positiv auf die Gesundheit auswirken. Ob dies auch die Lebenserwartung verlängert, ist jedoch noch unbekannt. Die Wissenschaftler haben zudem anhand der im Erbgut kodierten Proteine den Bedarf an Aminosäuren von Fruchtfliegen berechnet. „Auf diese Weise haben wir eine Spezialdiät für Fruchtfliegen entwickelt, bei der weder ein Mangel noch ein Überschuss an Aminosäuren entsteht“, sagt Grönke. „Die so gefütterten Tiere werden früher satt und fressen deshalb weniger. Trotzdem wachsen sie schneller, werden größer und legen mehr Eier als ihre Artgenossen mit Standardfutter. Und trotzdem leben sie genau so lang“, sagt Grönke.

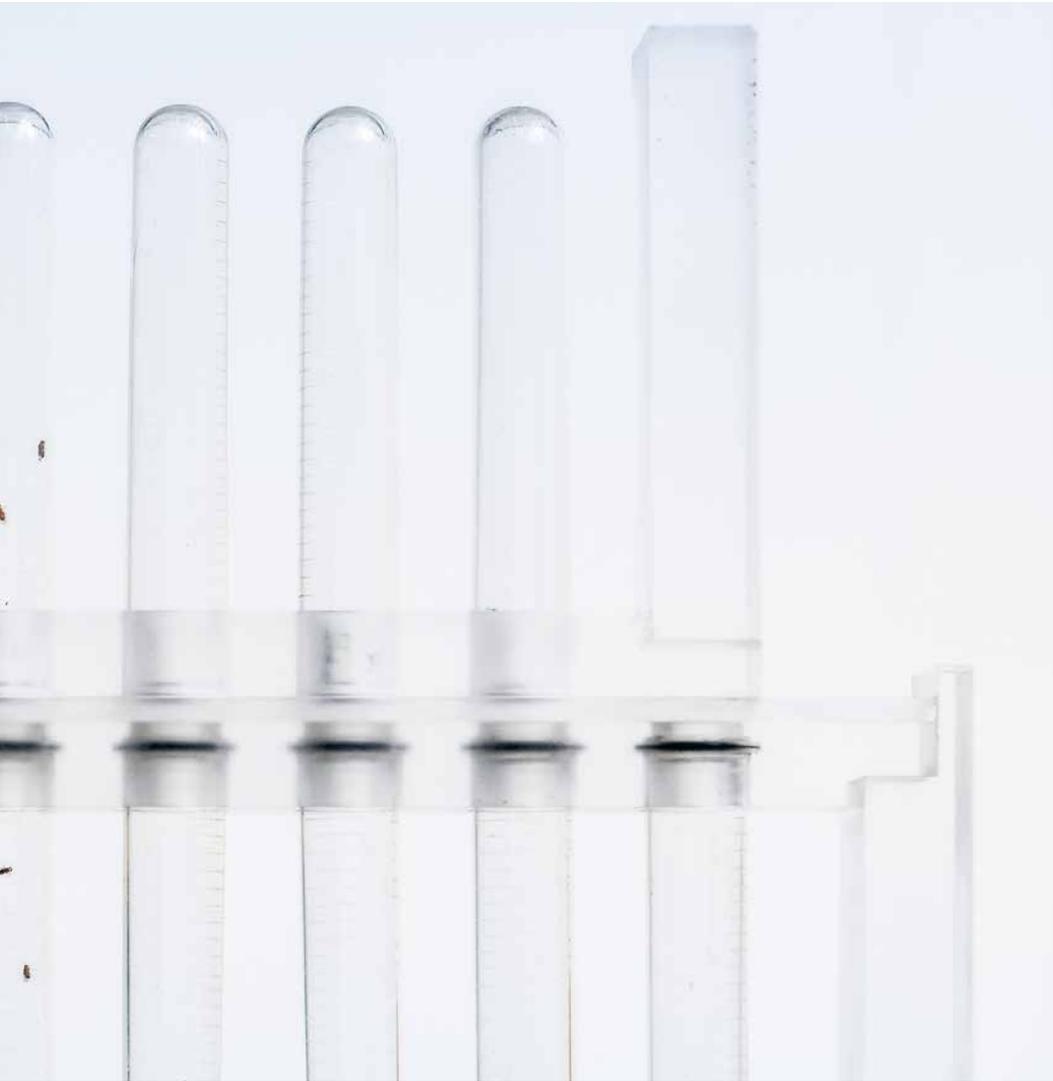
Die verringerte Menge an essenziellen Aminosäuren wirkt auf ein Netzwerk aus Signalwegen in den Zellen, das als IIT-Netzwerk bezeichnet wird. Es ist in so unterschiedlichen



FOTOS: FRANK VINKEN

Im Labor von Linda Partridge und Sebastian Grönke leben die Fruchtfliegen in etwa fingerlangen Röhrchen, die mit einem gasdurchlässigen Stopfen verschlossen werden.





**Fitnessstest für Fliegen:**  
Nur körperlich leistungsfähige Individuen können in den Röhrchen schnell nach oben klettern. Sind die Ersten im linken Röhrchen oben angekommen, wird der obere Teil nach rechts versetzt, und die nächste Runde beginnt. Die Fliegen werden durch sanftes Klopfen wieder auf den Boden befördert und müssen dann erneut nach oben klettern. Dieser Ablauf wird fünfmal wiederholt, bis die Fittesten unter den Fliegen ganz rechts angekommen sind.

59

Organismen wie der Fruchtfliege bis hin zum Menschen aktiv und steuert Entwicklung, Zellvermehrung, Wachstum, Fortpflanzung und die Reaktion auf Stress. Zum Netzwerk gehören der sogenannte Insulin/IGF-1- sowie der mTOR-Signalweg mit jeweils vielen verschiedenen Signalmolekülen, die wichtigsten davon IGF-1 und mTOR. Fliegen und Mäuse, die veränderte Gene für diese Moleküle besitzen, altern langsamer und werden so zu wahren Methusalems. Wie ein feiner Sensor misst das IIT-Netzwerk den Nährstoffstatus im Körper, um den Stoffwechsel an den Bedarf und

die verfügbare Nahrung anzupassen. Eine reduzierte Nahrungsaufnahme bremst offenbar die Aktivität des Netzwerkes.

Auch die Medikamente Lithium, Trametinib und Rapamycin wirken auf verschiedene Signalstoffe des IIT-Netzwerks und fahren es herunter. Jede einzelne Substanz verlängert die Lebensdauer der Fliegen um durchschnittlich elf Prozent. Zwei davon erhöhen die Lebenserwartung um etwa 30, alle zusammen um fast 50 Prozent. Gleichzeitig ergänzen sie sich darin, die Nebenwirkungen zu verringern: Rapamycin

allein wirkt negativ auf den Fettstoffwechsel, Lithium scheint diesen Effekt dann wieder aufzuheben.

Medikamente für ein langsames und gesünderes Altern – völlig abwegig ist die Vorstellung also nicht mehr. Das Diabetesmedikament Metformin ist ein weiterer Kandidat dafür. In den USA soll in Kürze in einem Großversuch mit mehreren Tausend Menschen die Wirkung auf die Lebenserwartung untersucht werden. Solche Medikamente könnten Menschen zugutekommen, denen auch eine optimale Ernährung nicht zu einem längeren Leben

→

verhelfen kann. Und den meisten Menschen fällt es sowieso schwer, sich jahrzehntelang an Ernährungsvorgaben zu halten.

Auf der Suche nach weiteren Anti-Aging-Kandidaten haben die Forschenden in einer Substanzdatenbank nach Wirkstoffen mit bereits bekannten Nebenwirkungen gefahndet und mithilfe von Computermodellen berechnet, ob diese an Signalmoleküle des IIT-Netzwerks binden.

Und sie wurden schnell fündig: Ein Wirkstoff namens Tanespimycin hat bereits im Modellorganismus der Altersforscher schlechthin – dem Fadenwurm *Caenorhabditis elegans* – sein Potenzial bewiesen. Er blockiert das Hitzeschockprotein Hsp90 und verringert die Zahl der sogenannten seneszenten Zellen. Diese ausgereiften Zellen werden im Alter immer mehr und schütten Stoffe aus, die eine chronische Entzündung fördern. Dadurch begünstigen sie typische Alterserkrankungen wie Herzinfarkt oder Krebs. In jüngeren Jahren werden die Zellen noch vom Immunsystem entfernt. Im Alter hingegen werden sie von genau diesem Hsp90-Protein vor der Zerstörung geschützt.

Tanespimycin kann zwar wegen seiner starken Nebenwirkungen nicht einfach so verabreicht werden. „Mit einer kurzzeitigen lokalen Anwendung könnte man aber unter Umständen altersbedingte Erkrankungen bekämpfen – zum Beispiel eine Makuladegeneration im Auge, die häufigste Ursache von Altersblindheit“, erklärt Partridge. Die Forscher untersuchen deshalb, ob Wirkstoffe, die auf das IIT-Netzwerk abzielen, den Alterungsprozess im gesamten Körper verzögern können, auch wenn sie nur in einzelnen Geweben aktiv werden. Dazu haben sie analysiert, ob Gehirn-, Muskel-, Darm- und Fettgewebe einer Fruchtfliege die gleichen Proteine herstellen, wenn das IIT-Netzwerk weniger aktiv ist. „Das ist aber offenbar nicht der Fall: Die verschiedenen

Zelltypen reagieren dann unterschiedlich“, erklärt Partridge. Von den 6000 untersuchten Proteinen werden 2400 in Gehirn, Muskeln, Darm und Fett unterschiedlich stark gebildet. Der Darm beispielsweise produziert bei schwach aktivem IIT-Netzwerk mehr Enzyme, die die Qualität der Proteinsynthese

---

## AUF DEN PUNKT GEBRACHT

Das IIT-Netzwerk beeinflusst das Altern eines Organismus maßgeblich. Werden Gene dieses Systems aus Signalwegen in Zellen gehemmt, steigt die Lebenserwartung.

Weniger Nahrung und essenzielle Aminosäuren verringern die Aktivität des IIT-Netzwerks. Fruchtfliegen und Mäuse leben daher in Laborversuchen länger, wenn sie auf eine ausgewogene Diät gesetzt werden.

Eine Kombination von Rapamycin, Lithium und Trametinib verlängert die Lebenserwartung von Fruchtfliegen deutlich. Die Medikamente drosseln ebenfalls das IIT-Netzwerk.

Manche Gewebetypen wie das Fettgewebe besitzen eine Art Gedächtnis für Umwelteinflüsse und Lebensstil. Deshalb verlängert eine Umstellung der Ernährung bei Mäusen die Lebenserwartung nur, wenn sie bereits bei jungen Erwachsenen erfolgt.

---

kontrollieren. „Das allein kann die Lebensspanne des gesamten Organismus verlängern“, so Partridge. Wird das IIT-Netzwerk dagegen im Fettgewebe der Fliege heruntergefahren, werden ganz andere Proteine gebildet. Diese verbessern die

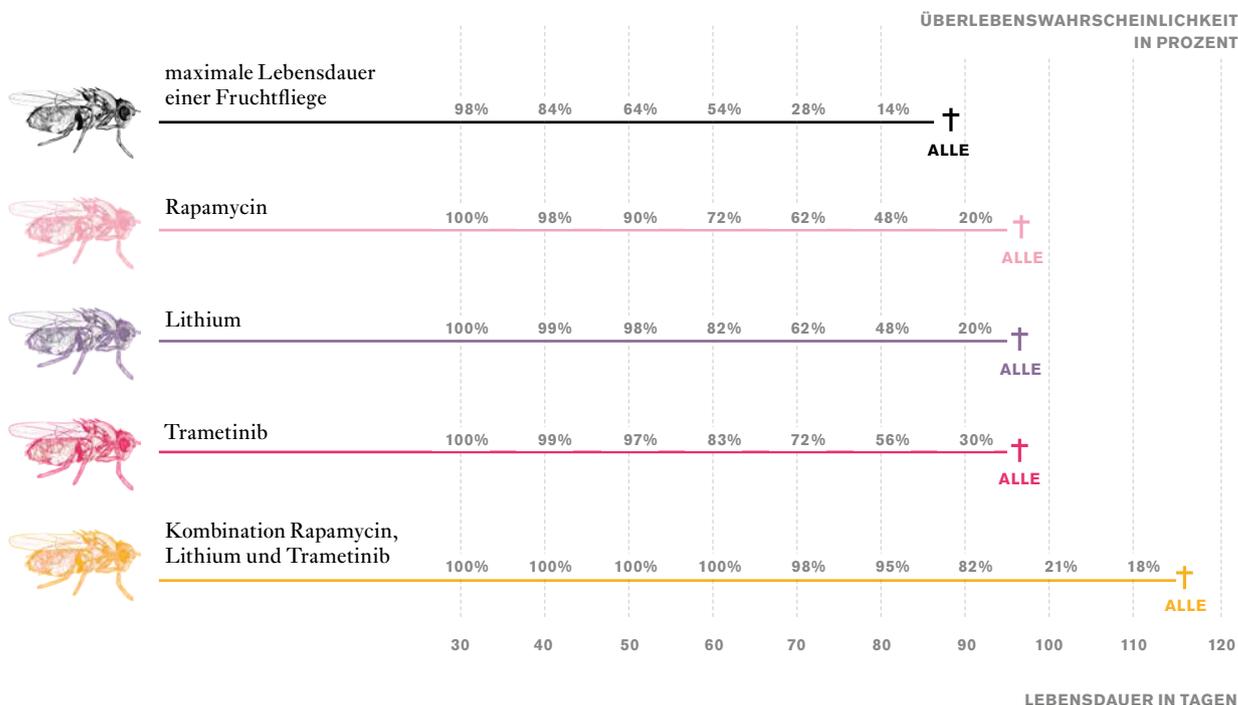
Qualität der Mitochondrien, der zellulären Energiekraftwerke. Auch dies verlängert die Lebenszeit der Tiere. Das IIT-Netzwerk kontrolliert also in verschiedenen Geweben unterschiedliche lebensverlängernde Prozesse.

Hinzu kommt, dass sich äußere Einflüsse je nach Alter unterschiedlich auf verschiedene Gewebetypen auswirken. Die Max-Planck-Forscher haben beispielsweise junge und ältere Mäuse auf Diät gesetzt und die Auswirkungen auf die Lebenserwartung gemessen. Bei den jungen Tieren lief alles wie erwartet: Der Verzicht auf Nahrung ließ die Nager zu wahren Greisen heranreifen, die selbst im Alter noch vergleichsweise gesund waren. Die Tiere, die sich erst spät im Leben einschränken mussten, profitierten dagegen kaum noch oder gar nicht mehr.

Eine Analyse der Genaktivität ergab, dass sich zum Beispiel die Leber schnell an die neue Ernährung anpasst. Im Fettgewebe dagegen beobachteten die Forscher eine Art Gedächtniseffekt: Die Vorläuferzellen der eigentlichen Fettzellen scheinen durch den Lebensstil in jungen Jahren so geprägt zu sein, dass eine veränderte Ernährung die Aktivität der Fettgene nicht mehr verändern kann. So kommt es, dass die erst spät fästenden Mäuse zwar an Gewicht verlieren, die Gene im Fettgewebe aber ähnlich aktiv sind wie die von Tieren mit normaler Ernährung. Außerdem ändert sich die Fettzusammensetzung bei alten Mäusen nicht mehr so stark. Die verschiedenen Fettmoleküle haben unterschiedliche Funktionen: Triglyceride zum Beispiel wirken als Speicherfette, Phospholipide als Membranbausteine, Cholesterole als Signalstoffe.

Das Fettgewebe spielt also eine wichtige Rolle für das Altern des Körpers. Die Ernährungsweise wirkt sich dort vor allem auf die Mitochondrien aus. Wenn die Tiere weniger Nahrung aufnehmen, werden diese Energieproduzenten der Zellen vermehrt gebildet – allerdings nur, wenn sie

GRAFIK: GCO MEDIENAGENTUR



schon früh im Leben weniger fressen. „Früh“ heißt im Fall der Mäuse schon nach ein paar Monaten, wie eine weitere Studie der Kölner Forscher ergeben hat. Dem Gedächtniseffekt liegen möglicherweise sogenannte epigenetische Veränderungen am Erbgut zugrunde. Durch die Anheftung kleiner Molekülgruppen an die DNA werden Gene an- oder abgeschaltet. Auf diese Weise können Umwelteinflüsse vergleichsweise schnell die Gene beeinflussen und ihre Auswirkungen sogar an die nächste Generation weitergegeben werden.

Studien in den USA haben gezeigt, dass ein Teil der epigenetischen Veränderungen altersabhängig ist. Das biologische Alter eines Menschen lässt sich auf diese Weise an rund 350 DNA-Veränderungen mit verblüffender Genauigkeit ablesen. Die epigenetische Uhr tickt dabei in allen untersuchten Zelltypen gleich – und das, obwohl manche Zellen laufend neu gebildet werden, andere dagegen bereits im Embryo entstanden sind. Was die Veränderungen am

Erbgut genau bewirken, ist noch ein Rätsel.

Die reduzierte Nahrungsaufnahme wirkt sich offenbar auf solche altersabhängigen epigenetischen Veränderungen aus. Gleichzeitig kurbelt sie eine Umprogrammierung des Fettstoffwechsels an. Sie bewahrt den Körper vor einer erhöhten Fettablagerung in der Leber sowie einer Insulinresistenz – einem typischen Anzeichen von altersbedingtem Typ-2-Diabetes.

Will man die Ergebnisse der Studien an den Mäusen auf den Menschen übertragen, müsste man sagen: Wer lange leben will, muss früh damit anfangen. „Unsere Ergebnisse zeigen, dass man sich schon von klein auf entsprechend ernähren sollte. Der Grundstein für ein gesundes Alter wird bereits im frühen Erwachsenenalter gelegt“, sagt Linda Partridge.

Einen Anreiz, sich schon früh mit dem eigenen Altern zu beschäftigen, könnte vielleicht eine weitere

Entdeckung aus den Labors der Kölner Forscher bieten. Zusammen mit Kollegen des Leiden University Medical Center in den Niederlanden haben sie in Blutproben von mehreren Zehntausend Menschen nach Molekülen gesucht, welche die noch zur Verfügung stehende Lebenszeit eines Menschen anzeigen. Nach einer umfangreichen Analyse haben die Wissenschaftler 14 Biomarker identifiziert; darunter sind verschiedene Aminosäuren, der Gehalt an „gutem“ und „schlechtem“ Cholesterin, Fettsäuren und Signalmoleküle für Entzündungen. Zunächst sollen diese Zeigermoleküle für die Altersforschung an Tieren sowie in klinischen Studien an Menschen eingesetzt werden. Eines Tages könnten junge Menschen aber anhand von Biomarkern im Blut mit hoher Sicherheit bestimmen lassen, ob sie im Alter an bestimmten Erkrankungen leiden werden. Dann könnte jeder selbst entscheiden, ob er mit mehr Bewegung und besserer Ernährung vorsorgen oder sogar präventiv Medikamente für seine Gesundheit im Alter nehmen will.

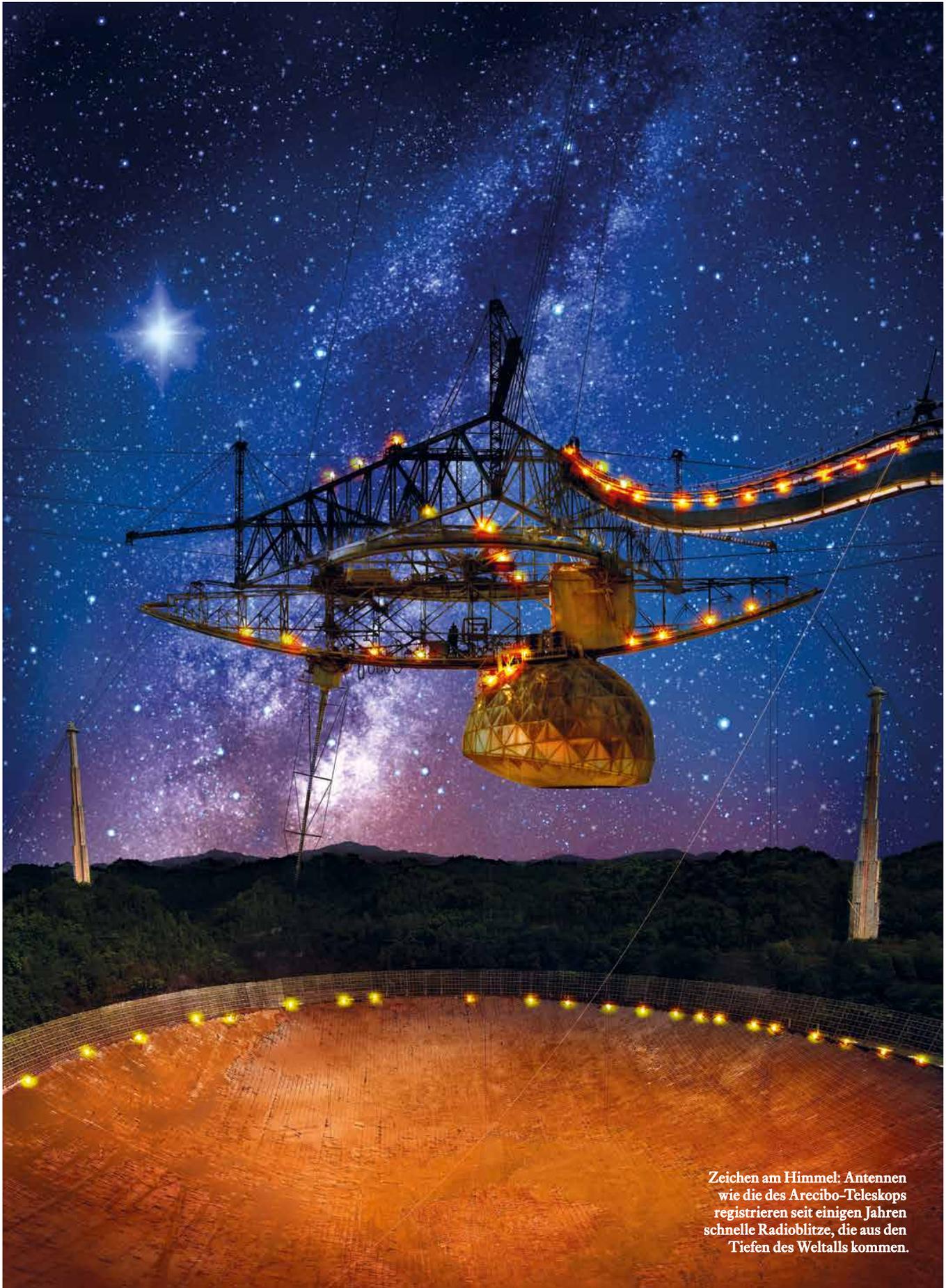


BILD: JASON HESSELS-ASTRON / DANIELLE FUTSELAAR-ARTSOURCE.NL / B.P. IRWIN / D. VAN DE WATER / SHUTTERSTOCK

**Zeichen am Himmel: Antennen wie die des Arecibo-Teleskops registrieren seit einigen Jahren schnelle Radioblitze, die aus den Tiefen des Weltalls kommen.**

# DAS RÄTSEL DER HIMMLISCHEN BLITZE

TEXT: HELMUT HORNING

Es ist ein kosmisches Blitzlichtgewitter, das sich um uns herum abspielt. Ständig zuckt am irdischen Himmel irgendwo ein Puls auf, der im nächsten Augenblick wieder erlischt. Diese nur mit Radioteleskopen messbaren, tausendstel Sekunden andauernden Blitze stellen die Forscher vor eines der größten Rätsel der Astrophysik. Dass militante Aliens in den Weiten des Weltalls einen „Krieg der Sterne“ austragen, glauben die Wissenschaftler eher weniger. Woher aber stammen diese von den Experten schlicht Fast Radio Bursts genannten Erscheinungen?

Im australischen Parkes ragt eine gigantische Schüssel aus Gittergeflecht in den Himmel. Dieses mit 64 Meter Durchmesser lange Zeit größte voll bewegliche Radioteleskop der südlichen Hemisphäre registrierte im Jahr 2001 einen geheimnisvollen Radioblitz – und kein Mensch merkte es! Erst fünf Jahre später fanden der Astrophysiker Duncan Lorimer und sein Student David Narkevic in den Daten des Teleskops mehr oder weniger zufällig die Signatur des Signals. Schon damals konnten sich die Fachleute keinen Reim auf das Phänomen machen. Aber dieser „Lorimer-Blitz“ blieb nicht der einzige.

„Mittlerweile kennen wir mehr als hundert“, sagt Laura Spitler. Die Forscherin leitet am Max-Planck-Institut für Radioastronomie seit März 2019 eine Lise-Meitner-Gruppe zu dem Thema. Spitler widmet sich schon seit vielen Jahren diesem flüchtigen Flackern im All. Unter ihrer Führung entdeckte ein internationales Team 2014 den ersten Fast Radio Burst (FRB) auf der nördlichen Himmelskugel, und zwar im Sternbild Fuhrmann. Damals hatten die Astronomen die Schüssel des Arecibo-Teleskops auf Puerto Rico verwendet. Die 305 Meter durchmessende Antenne ist in einem natürlichen Tal fest verankert und kann immer nur einen relativ kleinen Ausschnitt des Firmaments ins Visier nehmen.

„Statistisch gesehen sollte es nur sieben Ausbrüche pro Minute über den ganzen Himmel verteilt geben. Es gehört also schon eine Menge Glück dazu, dass man sein Teleskop zur richtigen Zeit auf die richtige Position ausrichtet“, sagte Laura Spitler damals nach Bekanntgabe der Entdeckung.

Sowohl die Eigenschaften des beobachteten Radioblitzes als auch die aus der Messung abgeleitete Häufigkeit solcher Ereignisse stimmten sehr gut mit dem überein, was die Astronomen bei allen vorher registrierten Ausbrüchen herausgefunden hatten.

Tatsächlich bestätigten sich statistische Annahmen, wonach rund 10 000 dieser ungewöhnlichen kosmischen Phänomene pro Tag am irdischen Firmament aufflackern sollten. Die erstaunlich große Anzahl ergibt sich aus Berechnungen, ein wie großer Teil des Himmels wie lange beobachtet werden müsste, um die bisher vergleichsweise wenigen Entdeckungen zu erklären.

Zudem räumte die Arecibo-Messung auch die letzten Zweifel daran aus, dass die Radioblitze wirklich aus den Tiefen des Universums stammen. Denn schon nach den ersten registrierten Bursts folgerten die Wissenschaftler, dass diese in einem Bereich weit außerhalb unserer Milchstraße entstehen. Das ließ sich aus einem

63





Dem Geheimnis auf der Spur: Laura Spitler erforscht am Max-Planck-Institut für Radioastronomie die sogenannten Fast Radio Bursts (FRB).

---

## AUF DEN PUNKT GEBRACHT

Schnelle Radioblitze (Fast Radio Bursts) dauern jeweils nur tausendstel Sekunden und wurden vor fast 15 Jahren zufällig entdeckt.

Die Blitze stammen aus Galaxien in großen Entfernungen und scheinen in unterschiedlichen Umgebungen zu entstehen.

Mittlerweile kennen die Astronomen auch Radioblitze, die sich mehr oder weniger rhythmisch wiederholen, sogenannte Repeater.

Die Quelle der Radioblitze ist bisher unbekannt.

---

64 Effekt namens Plasmadispersion ableiten: Wenn die Radiosignale über eine große Strecke durch das Universum laufen, treffen sie unterwegs auf viele freie Elektronen, die sich im Raum zwischen den Sternen aufhalten. Letztlich nimmt dadurch die Ausbreitungsgeschwindigkeit der Radiowellen bei niedrigeren Frequenzen in charakteristischer Weise ab. Bei dem mit dem Arecibo-Teleskop entdeckten oben erwähnten Strahlungsausbruch etwa war diese sogenannte Dispersion dreimal größer, als man das von einer Quelle innerhalb unserer Milchstraße maximal erwarten würde.

Was aber ist der Ursprung der Radioblitze? Stammen sie wirklich von Aliens, die Raumsonden mittels gewaltiger Lichtsegel antreiben? Diese kürzlich von den Medien bereitwillig aufgegriffene Erklärung hat Abraham Loeb ins Spiel gebracht, der immerhin an der renommierten US-amerikanischen Harvard University forscht. Doch die meisten Astrophysiker glauben an eine natürliche Quelle und haben diverse Szenarien entworfen, alle mehr oder

weniger exotisch. Viele davon drehen sich um Neutronensterne. Das sind die nur etwa 20 Kilometer großen Überbleibsel von gewaltigen Explosionen massereicher Sonnen als Supernovae.

In diesen Kugeln ist die Materie so dicht gepackt, dass ein Teelöffel voll ihrer Materie auf der Erde etwa so viel wiegen würde wie das Zugspitzmassiv. Die Neutronensterne rotieren schnell um ihre Achsen und besitzen zum Teil außergewöhnlich starke Magnetfelder. So könnten Fast Radio Bursts während einer Supernova entstehen, aber auch bei der Verschmelzung zweier Neutronensterne in einem engen Doppelsystem, wenn die Magnetfelder der beiden Einzelsterne gleichsam zusammenbrechen. Zudem könnte ein Neutronenstern zu einem schwarzen Loch weiterkollabieren und dabei einen Blitz aussenden.

Diese wissenschaftlichen Drehbücher klingen auf den ersten Blick plausibel, haben aber einen Fehler: Sie sagen jeweils nur einen einzigen Radio Burst voraus. „Wenn der Blitz in ei-

nem verheerenden Ereignis erzeugt wurde, das die Quelle zerstört, dann ist eben auch nur ein Blitz pro Quelle zu erwarten“, sagt Laura Spitler. In der Tat wurden in den ersten Jahren stets einmalige Ausbrüche registriert – bis im Jahr 2014 ein Burst mit der Bezeichnung FRB 121102 ins Netz ging: Der erste sogenannte Repeater, ein Blitz mit sich wiederholenden Pulsen. „Damit waren all jene Modelle widerlegt, die FRB als Folge eines katastrophalen Ereignisses erklären“, sagt Spitler.

Den ebenfalls am Arecibo-Teleskop entdeckten FRB 121102 haben die Forscher mit dem Very Large Array im US-Bundesstaat New Mexico weiter beobachtet und nach 80 Stunden Messzeit neun Blitze registriert sowie die Position mit einer Genauigkeit von einer Bogensekunde bestimmt. An der Stelle am Himmel findet sich eine permanent strahlende Radioquelle; optische Aufnahmen zeigen eine schwache, rund drei Milliarden Lichtjahre entfernte Galaxie. Mit einem Durchmesser von lediglich 13 000 Lichtjahren gehört dieses Sternsystem zu den Zwergen,

unsere Milchstraße ist etwa zehnmal größer. „Allerdings werden viele neue Sterne und vielleicht sogar besonders große in dieser Galaxie geboren – was ein Hinweis auf die Quelle der Radioblitz sein könnte“, so Laura Spitler.

Die Forscherin denkt dabei an Pulsare – kosmische Leuchttürme, die regelmäßig Radiostrahlung aussenden. Dahinter stecken wiederum schnell rotierende Neutronensterne mit starken Magnetfeldern. Weichen bei einem solchen Objekt die Rotationsachse und die Achse des Magnetfelds voneinander ab, kann ein gebündelter Radiostrahl entstehen. Jedes Mal, wenn dieser natürliche Scheinwerfer die Erde überstreicht, messen die Astronomen einen kurzen Puls.

Die Blitze der meisten Radiopulsare sind zu schwach, um sie aus großer Entfernung zu detektieren. Anders die besonders kurzen und extrem starken sogenannten Riesenpulse. Ein Paradebeispiel für diese Objektklasse ist der Krebspulsar, der in einer 1054 nach Christus beobachteten Supernovaexplosion geboren wurde. Seine Riesenpulse wären selbst von Nachbargalaxien aus sichtbar.

„Ein vielversprechendes Modell schlägt vor, dass Fast Radio Bursts noch viel stärkere und seltenere Riesenpulse von extragalaktischen Neutronensternen sind, ähnlich dem Krebspulsar. Oder sogar noch jünger und energetischer wie dieser“, sagt Laura Spitler. „Die Heimatgalaxie von FRB 121102 passt zu diesem Modell, denn sie hat das Potenzial, genau die richtigen Sterne hervorzubringen, die am Ende ihres Lebens zu Neutronensternen werden.“ Ob dieses Modell zutrifft, steht aber buchstäblich in den Sternen. Leichter wird die Aufklärung nicht, doch die Beobachtungen gehen weiter.

So haben die Radioantennen des Europäischen VLBI-Netzwerks im Sommer 2019 einen weiteren Repeater untersucht: FRB 180916.J0158+65 zeigte während der fünf Stunden langen Beobachtung gleich vier Strahlungsausbrüche, die jeweils weniger als zwei Millisekunden lang andauerten. Kürzlich fanden die Forscher auch noch einen gut 16-tägigen Rhythmus – jeweils vier Tage lang schickt die Quelle stündlich ein bis zwei Bursts ins All, dann verstummt sie für zwölf Tage. Die Heimat dieses Radioblitzes liegt in einer unge-

fähr 500 Millionen Lichtjahre entfernten Spiralgalaxie – damit ist er trotz dieser „astronomisch“ anmutenden Distanz der nächstgelegene bisher beobachtete. Zudem stellte sich heraus, dass es im Umfeld des Bursts offenbar eine hohe Rate an Sterngeburten gibt.

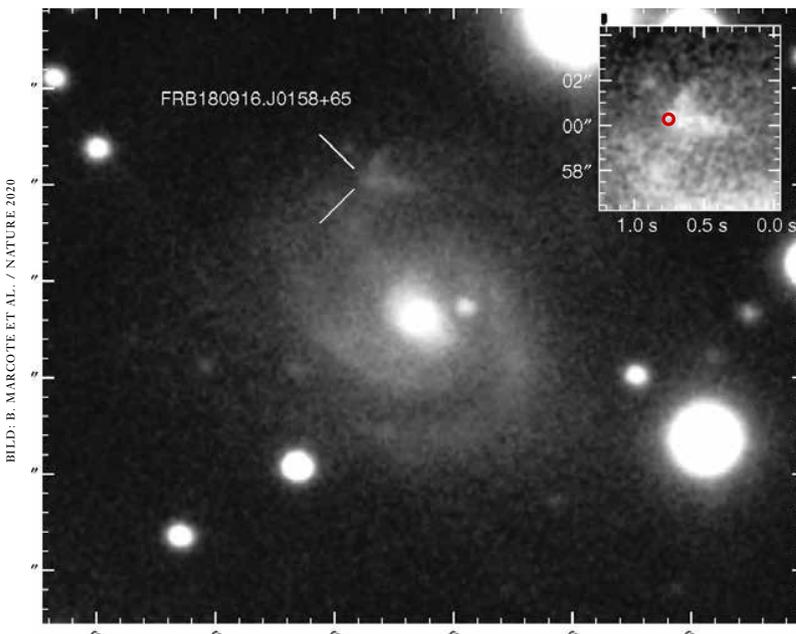
Die Position in der Galaxie unterscheidet sich von der aller anderen bisher untersuchten Blitze. Das heißt: Offenbar flammen die FRB in allen möglichen kosmischen Regionen und diversen Umgebungen auf. „Nicht zuletzt deshalb ist es noch unklar, ob alle Blitze die gleiche Art von Quelle haben oder durch die gleichen physikalischen Prozesse erzeugt werden“, sagt denn auch Max-Planck-Forscherin Spitler. „Das Rätsel um ihre Herkunft bleibt.“



**GLOSSAR 65**

*EUROPÄISCHES VLBI-NETZWERK*

Ein Verbund von hauptsächlich in Europa und Asien stationierten Radioteleskopen. Durch Interferometrie zusammengeschaltet, ergeben sie ein riesiges virtuelles Teleskop, das eine sehr hohe Detailauflösung besitzt.



Schneller Radioblitz: Optische Aufnahme der Ursprungsgalaxie des Ausbruchs FRB 180916.J0158+65, gewonnen am Teleskop Gemini Nord auf Hawaii. Der Detailausschnitt zeigt eine kontrastverstärkte Vergrößerung der Sternentstehungsregion in dieser Galaxie, in welcher der Burst gefunden wurde; seine Position ist durch einen roten Kreis markiert.

# NUR GEDULD!

TEXT: MARTIN ROOS

Für viele Menschen ist Warten vergeudete Zeit. – „Wer warten kann, hat mehr vom Leben,“ sagt dagegen Matthias Sutter. Am Max-Planck-Institut zur Erforschung von Gemeinschaftsgütern in Bonn befasst sich der Verhaltensökonom mit der Frage, wie Kinder und Jugendliche für einen sinnvollen Umgang mit Geld und einen stabilen Lebensweg geschult werden können.

Geht es nach der Bonner „Experimental Economics Group“, ist Geduld im Zeitalter der flüchtigen Chats, der Sekundenvideos, der Werbedauerberieselung und der rastlosen Jagd nach Geld und Karriere das (Gegen-)Mittel für ein gelungenes Leben überhaupt. Der Initiator der Experimental Economics Group, einer jungen Forschungsgruppe in der Verhaltensökonomie, ist Matthias Sutter, Direktor am Max-Planck-Institut zur Erforschung von Gemeinschaftsgütern. Er hat nun die neuesten Ergebnisse vorgelegt. Basis der Studien waren ökonomische Experimente an deutschen Schulen. Und sehr schnell wird klar: Geduld zählt neben Intelligenz und sozialer Herkunft zu den wichtigsten Erfolgsfaktoren. Und wer Geduld frühzeitig einübt, wird auch besser mit Geld umgehen können.

Matthias Sutter wirkt erstaunlich unkonventionell. Wer dem 52-jährigen Österreicher in der ehemaligen und kleinen Bundeshauptstadt Bonn am Rhein begegnet, der erkennt gleich, dass hier ein echter Teamplayer am Werk ist: Sutter ist freundlich, unpräzise, sehr interessiert und mit einer großen Neugier ausgestattet, die ihm eine für die Forschung wichtige Tugend ermöglicht: das Zuhören.

Seit 2017 ist er Direktor und wissenschaftliches Mitglied am Max-Planck-Institut zur Erforschung von Gemeinschaftsgütern. Mit seinen Studien über die Geduld und Ausdauer hat es Matthias Sutter nun offensichtlich geschafft, eine altmodisch erscheinende Tugend aus dem Dornröschenschlaf zu wecken. Für das Thema interessieren sich heute nicht nur Eltern und Erzieher, sondern auch Personal- und Manager. Sutter hält inzwischen Vorträge bei Industrieunternehmen und in Banken.

Die Ergebnisse sind motivierend: „Wir haben in unseren Studien feststellen

können“, sagt Claudia Zoller, Mitarbeiterin in der Experimental Economics Group, „dass Kinder mit zunehmendem Alter ausdauernder werden und dass Mädchen fleißiger sind als Jungen.“ Wenn es allerdings um Herausforderungen gehe wie das Lösen eines schwierigen Puzzles, hätten die Jungs die Nase vorn. In jedem Fall habe sich jedoch gezeigt, dass sich Ausdauer bereits im frühen Lebensalter entwickelt. „Wer schon von Kind an gelernt hat, geduldiger zu sein, der ist im späteren Leben insgesamt ein zufriedener Mensch“, meint Zoller.

„Geduld haben“ darf nicht missverstanden werden in dem Sinne, dass man das Schicksal entscheiden lässt. „Geduld ist ein tatkräftiges Hinarbeiten auf etwas“, erklärt Sutter. Oder wie es die französische Schriftstellerin George Sand einmal ausdrückte: „Geduld ist nichts anderes als eine Art Energie.“ Die Fähigkeit, einem Impuls nicht sofort nachgeben zu müssen, wird zwar in der frühen Kindheit angelegt. Aber: „Warum die einen prinzipiell geduldiger durchs Leben gehen als die anderen,

→

ILLUSTRATION: ALESSANDRO GOTTARDO



lässt sich schwer erklären“, sagt Anna Untertrifaller, ebenfalls Mitarbeiterin der Experimental Economics Group. Belastbare Forschungen über genetische Zusammenhänge fehlen.

Ein Pionier in der Erforschung der Geduld war der amerikanische Psychologe Walter Mischel. 1968 prüfte er mithilfe seines legendären Marshmallow-Tests die Geduld von Kindern: Sie konnten ein Marshmallow entweder sofort verputzen – oder ein paar Minuten warten und dann eine zweite Süßigkeit bekommen. Die Ergebnisse veranlassten Mischel zu der Vermutung, dass die Fähigkeit zur Selbstkontrolle ein Indikator für Erfolg ist. Auch wenn Mischels Studien jüngst teilweise kritisiert wurden, bestätigen andere Ergebnisse – wie etwa jene der Forschungsgruppe von Terrie Moffitt an der Duke University – den Zusammenhang zwischen Selbstkontrolle und Erfolg. Dass dabei aber auch äußere Faktoren des sozialen Umfelds eine Rolle spielen, ist unbestritten. „Verlässlichkeit ist enorm wichtig“, erklärt Anna Untertrifaller: „Man sollte bereits ganz früh die Erfahrung gemacht haben, dass es sich lohnt, geduldig zu sein und zu warten.“ Und Geduld braucht Vorbilder, ergänzt Sutter. Und da baut er ganz auf Erziehung: „Hier sind die Eltern gefragt. Sie tun gut daran, ihren Kindern eine gewisse Geduld und Ausdauer vorzuleben.“

## Schnelles Geld oder auf eine höhere Summe warten?

Untersuchungen haben gezeigt, dass sich Geduld und Selbstkontrolle auch beim Umgang mit Geld auszahlen. Aber es braucht ein finanzielles Grundwissen, das an deutschen Schulen bislang nur ungenügend vermittelt wird. Die neueste Studie der Bonner Verhaltensforschenden dreht sich daher vor allem um die Frage, wie Finanzthemen in der

Schule so vermittelt werden können, dass sie sich positiv auf das spätere finanzielle Verhalten der Erwachsenen auswirken.

„Financial literacy“ lautet der Fachbegriff, was so viel bedeutet wie „Finanzkompetenz“. Grundsätzlich versteht man darunter die Fähigkeit des Einzelnen, mit Geld umzugehen, also sinnvolle und fundierte Entscheidungen in Bezug auf Investitionen, Sparen und Konsum zu treffen. Dass ein Zusammenhang zwischen finanzieller Kompetenz und finanziellem Verhalten besteht, ist in der bisherigen Forschung unumstritten. Studien zeigen, dass finanziell weniger gebildete Probanden mit größerer Wahrscheinlichkeit zu wenig für den Ruhestand sparen, niedrigere Renditen von ihren Sparkonten erzielen und sich weniger für Kredit-, Spar- und Anlagepraktiken interessieren. Eine geringere Finanzkompetenz korreliert zudem mit einer suboptimalen Immobilienfinanzierung und höheren Kreditkartenschulden.

„Allerdings war bisher nicht klar“, erklärt Sutter, „wie und warum sich Finanzkompetenz auf finanzielles Verhalten auswirkt.“ Seine neuen Untersuchungen zielen deswegen darauf ab, an deutschen Gymnasien Finanzwissen zu vermitteln und dabei die Frage zu klären, ob eine solche Grundbildung das Interesse und die Beschäftigung mit Wirtschaftsthemen verbessert und einen Einfluss auf ökonomisch relevante Einstellungen wie Geduld oder Risikobereitschaft hat.

An der Studie beteiligten sich insgesamt 645 Schülerinnen und Schüler an elf Gymnasien in Deutschland. Die Gymnasiasten der neunten bis zwölften Klasse wurden zum Beispiel einen Monat lang jeweils zwei Stunden pro Woche mit Begriffen wie Inflation, Zinssatz oder monetäres Targeting konfrontiert, sie bekamen Unterricht und nahmen an Experimenten teil. In diesen wurde etwa die Geduld gemessen, indem die Jugendlichen zwischen zehn Euro

am Tag des Experiments und einem höheren Betrag (bis zu 14 Euro) in drei Wochen wählen konnten. Ungeduldige Schüler wählten die zehn Euro sofort, selbst wenn ihnen 13 oder 14 Euro in drei Wochen angeboten wurden, während geduldigere Schüler schon für elf oder zwölf Euro drei Wochen lang warten konnten.

## Analphabeten in Finanzfragen

Das Besondere an Sutters Vorgehen im Gegensatz zu bisherigen Studien: „Unser Experiment hatte drei zeitliche Berührungspunkte mit den Schülern: eine Woche vor der In-



FOTO: STEFAN FINGER / LAIF

---

## AUF DEN PUNKT GEBRACHT

Wichtige Voraussetzungen für persönlichen Wohlstand sind Ausdauer und Geduld. Beide lassen sich durch Erziehung und Bildung fördern.

Finanzielle Kompetenzen sind in Deutschland wie international unterentwickelt.

Deutsche Schulen sollten flächendeckend finanzielles Grundwissen vermitteln. So ließe sich der Umgang mit Geld positiv beeinflussen.

---

Impulsgeber für finanzielle Bildung: Max-Planck-Direktor Matthias Sutter fordert, den vernünftigen Umgang mit Geld bundesweit in die Lehrpläne aufzunehmen.



tervention als Basismessung, dann eine Woche danach, um kurzfristige Effekte zu messen, und etwa fünf Monate später, um Langzeiteffekte festzustellen.“ Dadurch konnten die Forscher prüfen, ob einige Aspekte der finanziellen Bildung mit der Zeit verblasst sind oder ob sie sich verfestigt haben. „Jede finanzielle Entscheidung beinhaltet ein gewisses Maß an Risiko und eine zeitliche Dimension. Deswegen haben wir besonders betrachtet, wie hoch die Risikobereitschaft ist und wie ausgeprägt die Zeitpräferenz – oder anders gesagt: die Geduld.“

Das Ergebnis: „Mit größter Wahrscheinlichkeit beeinflusst finanzielle Grundbildung im Kindes- und Jugendalter das spätere finanzielle Verhalten positiv“, erklärt Sutter. Die finanziellen Grundbildungsmaßnahmen hatten die Probanden zudem kompetenter und für das Thema Finanzen aufgeschlossener gemacht. „In Bezug auf die Risikobereitschaft lösten unsere Befragungen und Tests zwar mehr Risikoaversion aus“, erklärt Sutter, doch

die Verbesserungen der Finanzkompetenz während der Testphase wirkten diesem Effekt wieder entgegen – die Schülerinnen und Schüler wurden also wieder etwas mutiger und scheuten das Risiko weniger. „Die Beschäftigung mit finanzieller Grundbildung lässt Jugendliche außerdem geduldiger werden“, sagt der Verhaltensökonom. **69**

So weit die Studie an elf Schulen in Deutschland. Doch „die allgemeine Finanzbildung ist, gelinde ausgedrückt, auf der ganzen Welt recht begrenzt“, meint Sutter. Er bezieht sich auf Studien von Annamaria Lusardi, Professorin für Ökonomie an der George Washington University, und Olivia Mitchell, Ökonomieprofessorin an der Wharton School in Pennsylvania. Ihr Projekt „Financial literacy around the world“ hat ergeben, dass viele Menschen praktisch Analphabeten in Finanzfragen sind – und das, obwohl die Organisation für wirtschaftliche Zusammenarbeit und Entwicklung (OECD) die Finanzkompetenz als eine wesentliche Lebensqualifikation einstuft. →

„Menschen auf der ganzen Welt haben Schwierigkeiten, scheinbar einfache Konzepte wie Zins, Risikostreuung oder das Verhältnis von Inflation und Kaufkraft zu verstehen“, erklärt Sutter. Selbst für die USA, wo es einen ausgeprägten Finanzmarkt gibt, ermittelten die beiden Forscherinnen, dass nur 43 Prozent der über 51-Jährigen Kompetenz in einfachen Finanzfragen aufweisen. Bei den unter 34-Jährigen sind es sogar nur 18 Prozent.

Auch in Deutschland sieht es nicht besonders gut aus. Ein Team um Tabea Bucher-Koenen am Max-Planck-Institut für Sozialrecht und Sozialpolitik in München hat die Finanzkompetenz der Deutschen in mehreren Studien untersucht. Den Testpersonen wurden drei Fragen zur Berechnung von Zins und Inflation und zum Kauf von Aktien und Aktienfonds vorgelegt. Immerhin gut die Hälfte beantwortete alle drei Fragen richtig. Drei Viertel kannten die Lösung für die ersten beiden Fragen. Allerdings wusste jeder Zehnte für keine Frage die richtige Antwort. Knapp acht Prozent wählten bei allen Fragen die Option „Das weiß ich nicht“.

70

Leitfäden für die Praxis kann die Wissenschaft nicht vorgeben. Doch sie kann entscheidende Impulse in die Bildungspolitik der Republik senden. „Um Finanzwissen für alle zugänglich zu machen, sind schulische Angebote der beste Weg“, ist Sutter überzeugt. Allerdings ist finanzielle Kompetenz bislang nicht in den Standardlehrplänen der Schulen enthalten. Nach Sutters Recherchen widmen sich in Deutschland 39 verschiedene Schulfächer Aspekten der finanziellen Bildung. Als bislang einziges Bundesland setzt Baden-Württemberg auf das Schulfach „Wirtschaft und Berufsorientierung“. Seit 2018 wird es dort flächendeckend unterrichtet.

„Die Zersplitterung der finanziellen Bildung im bundesdeutschen Schulsystem führt zu einer mangelnden Transparenz über den Status quo der finanziellen Kompetenz der heran-

wachsenden Generation“, kritisiert Sutter. Er bezweifelt, dass eine solche Fragmentierung einen langfristigen und kumulativen Kompetenzaufbau in finanzieller Bildung gewährleistet. Denn dieser sei gemäß der pädagogisch-psychologischen Theorie der Kompetenzentwicklung sowohl auf eine kontinuierliche Förderung als auch auf ein gutes fachliches Fundament angewiesen. Bis Sutter die Politik wirklich überzeugt hat, wird es wohl noch dauern.

## Langzeitstudie in Bangladesch

Noch weitergehende Erkenntnisse über die Zusammenhänge von Geduld, finanzieller Kompetenz und persönlichem Wohlstand erwartet Sutter von Längsschnittstudien, die über Jahrzehnte verlaufen. Auf diese Weise lassen sich sehr viel genauer Veränderungen bei den Testpersonen und mögliche Ursachen dafür feststellen. Für diese Forschung

hat sich Matthias Sutters Team ein Land mit einem ganz anderen gesellschaftlichen, kulturellen und sozialpolitischen Hintergrund ausgesucht: Bangladesch.

Der Grund ist ein praktischer: „Die Menschen, die wir hier ausgesucht haben, leben ihr ganzes Leben mehr oder weniger an einem Ort. Sie gehen uns also nicht verloren“, sagt Sutter. Sein Team verfolgt die Entwicklung der ausgesuchten Personen in Bezug auf Geduld, Risikoverhalten und soziale Präferenzen, um noch besser zu verstehen, wie sich ökonomische Verhaltensweisen – vor allem Geduld – im jungen Alter und in Abhängigkeit vom Beispiel der Eltern ausbilden. Bisher zeigte sich, dass sich Geduld zu haben und Geduld zu praktizieren ganz offensichtlich auf die finanzielle Existenz auswirken oder damit zu tun haben. „Wir sind also noch lange nicht fertig“, sagt Matthias Sutter und lacht. Denn er weiß genau: Für sehr gute Forschung braucht man Ausdauer und Geduld. ←

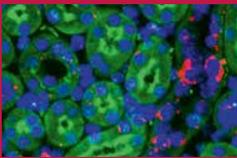
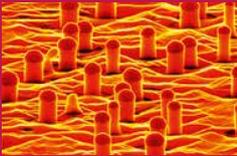
Geduldssprobe: Beim Puzzeln können Kinder die Erfahrung machen, dass sich Ausdauer lohnt.



FOTO: AUS VIDEO-INTERVIEW MIT MATTHIAS SUTTER / MPI FÜR GEMEINSCHAFTSGÜTER



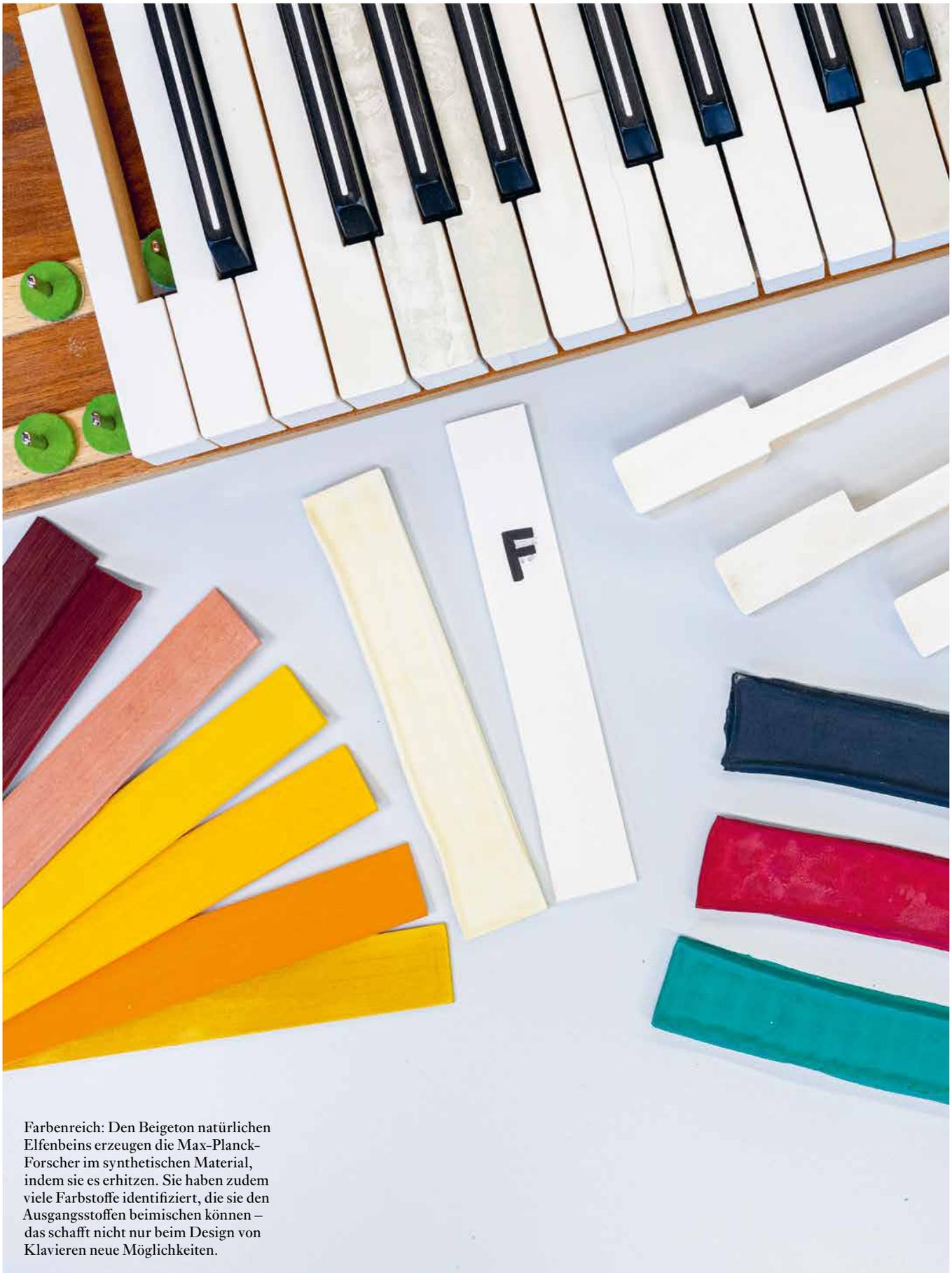
Connecting Science and Business.



Als Technologietransfer-Organisation der Max-Planck-Gesellschaft ist Max-Planck-Innovation das Bindeglied zwischen Industrie und Grundlagenforschung. Mit unserem interdisziplinären Team beraten und unterstützen wir die Wissenschaftler bei der Bewertung von Erfindungen, der Anmeldung von Patenten sowie der Gründung von Unternehmen. Der Industrie bieten wir einen zentralen Zugang zu den Innovationen der Max-Planck-Institute. Damit erfüllen wir eine wichtige Aufgabe: Den Transfer von Ergebnissen der Grundlagenforschung in wirtschaftlich und gesellschaftlich nützliche Produkte.

# Connecting Science and Business





72

FOTO: WOLFRAM SCHEIBLE

Farbenreich: Den Beigetönen natürlichen Elfenbeins erzeugen die Max-Planck-Forscher im synthetischen Material, indem sie es erhitzen. Sie haben zudem viele Farbstoffe identifiziert, die sie den Ausgangsstoffen beimischen können – das schafft nicht nur beim Design von Klavieren neue Möglichkeiten.

# ELFENBEIN AUS DEM REAGENZGLAS

TEXT: PETER HERGERSBERG

Darauf mussten Pianisten lange Zeit verzichten: das Tastengefühl, das ihnen Elfenbein gibt. Dieter Fischer, Sarah Parks und Jochen Mannhart, die am Max-Planck-Institut für Festkörperforschung in Stuttgart gewöhnlich quantenelektronische Phänomene erforschen, haben Abhilfe geschaffen – mit synthetischem Elfenbein. Nun will ein Start-up-Unternehmen das Material im großen Stil produzieren, und das nicht nur für Pianotasten.

Dass dieser Weihnachtsausflug so nachwirken würde, damit hatte Jochen Mannhart nicht gerechnet. 2014 wählten er und seine Gruppe, die am Max-Planck-Institut für Festkörperforschung in Stuttgart Effekte der Quantenelektronik erforscht, ein eher ungewöhnliches Ziel für ihre alljährliche Exkursion zum Jahresende: einen Klavierhersteller. Waren die Besuche bei Anbietern von Lasern und Werkzeugmaschinen oder Automobilherstellern und -zulieferern in vorangegangenen Jahren noch relativ naheliegend, drängten sich fachliche

Berührungspunkte beim Klavierbau nicht gerade auf.

2014 ging es also nach Spaichingen im Schwarzwald zu Sauter, der nach eigenen Angaben ältesten Pianofortemanufaktur Deutschlands. „Ich fand es wirklich erstaunlich, wie viel Zeit sich dort sogar der Geschäftsführer für uns nahm“, erzählt Jochen Mannhart. „Dabei konnte Sauter von uns nicht viel erwarten – weder als Kunden noch für die Rekrutierung neuer Mitarbeiter.“ So stellte er zum Abschluss, um wenigstens Dankbarkeit und guten Willen zu zeigen, die Frage: ob denn die Firma Sauter einen Wunsch an die Grundlagenforschung habe. Die Antwort von Otto Hott, dem Geschäftsführer und Miteigentümer des Unternehmens, kam ebenso prompt und knapp wie überraschend: „Synthetisches Elfenbein.“

Elfenbein ist für Pianisten immer noch das Material der Wahl, wenn es um Tastenbeläge geht. Doch der internationale Handel mit dem Elfenbein von Elefantenstoßzähnen wurde

1989 verboten, um die Tiere vor der Ausrottung zu bewahren. Bislang hatten Klavierbauer keinen Stoff gefunden, der Pianisten das gleiche Tastengefühl gibt wie das natürliche Material. Auch wenn die Eigenschaften von Elfenbein zu einem gewissen Grad von seiner Herkunft und von der Ernährung der Tiere abhängen, stets fühlt es sich warm an, nimmt Feuchtigkeit gut auf und wird auch in puncto Rutschfestigkeit von Pianisten bevorzugt.

Also nahm das Stuttgarter Team den Wunsch von Otto Hott mit in seine Labore und machte sich daran, ihn zu erfüllen. Darum kümmerten sich zunächst vor allem Dieter Fischer und Sarah Parks. Normalerweise erzeugen sie anorganische Materialien wie etwa ungewöhnliche Metallstrukturen oder komplexe Metalloxide, in denen exotische Quanteneffekte auftreten. Immer benötigen sie dafür aufwendige Apparaturen und ein sehr gutes Vakuum, damit die Stoffe möglichst rein entstehen. „Mir war aber gleich klar, dass alle Herstellungsmethoden im Vakuum

73



von vorneherein ausscheiden“, sagt Dieter Fischer. Selbst wenn sich auf diese Weise eine Substanz erzeugen ließe, die natürlichem Elfenbein gleicht, wäre eine Herstellung im größeren Stil doch nicht praktikabel und zu teuer.

## Eine einfache Idee, die noch keiner ausprobiert hatte

Um ein brauchbares Rezept für Elfenbein zu entwickeln, beschäftigte er sich erst einmal eingehend mit dem Material und den Ansätzen, die Wissenschaftler bis dato vergeblich verfolgt hatten, um es chemisch herzustellen: Elfenbein besteht zum einen aus Hydroxylapatitkristallen, die auch Knochen härten. Die mineralischen Partikel sind in Gerüst aus Kollagen eingelagert, einem Protein, welches dem Material Zähigkeit verleiht. Ein erstes Patent für die synthetische Nachbildung von Elfenbein erhielten A. und S. De Pont bereits Ende des 19. Jahrhunderts. Die Chemiker hatten versucht, auch den Entstehungsprozess des natürlichen Materials zu imitieren und Hydroxylapatitkristalle in einem Kollagengerüst wachsen zu lassen. Dieses Vorgehen führte zwar nicht zu einem brauchbaren Ersatz für Elfenbein, trotzdem gingen offenbar viele Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler, die es später probierten, davon aus, dass sie einen ähnlichen Weg verfolgen müssten.

Dieter Fischer wollte erst einmal ein viel simpleres Experiment machen. Warum nicht einfach eine Suspension von Hydroxylapatit-Teilchen mit gelöster Gelatine, die sich aus Kollagen bildet, mischen? Diese kühne, weil denkbar einfache Idee setzte er allerdings nicht aufs Geratewohl um. „Wir haben erst einmal darüber nachgedacht, welche Parameter für eine direkte Synthese wichtig sein könnten“, erzählt Dieter Fischer. „Und diese Auswahl hat dann zum Glück auch gleich

Spielfreude: Dieter Fischer hat die Entwicklung des synthetischen Elfenbeins geleitet. Nun probiert er im Max-Planck-Institut für Festkörperforschung das Klavier aus, dessen Tasten mit dem Material belegt sind – die Pianomanufaktur Sauter hat es den Forschenden geschenkt.

FOTO: WOLFRAM SCHEIBLE



ziemlich gut gepasst.“ Entscheidend bei der Herstellung sind demnach etwa die Temperatur und die Konzentration der Komponenten. Mit den richtigen Bedingungen stimmte auch das Ergebnis, als die Forschenden die beiden Komponenten mischten. Aus der milchigen Flüssigkeit, die sie zunächst erhielten, verdampften sie zuerst einen großen Teil der Lösungsmittel. Die zähe Masse, die übrig blieb, füllten sie schließlich in flache Formen und ließen sie auf einem Labortisch trocknen. Gummibärchen mit Hydro-

xylapatit nennt Dieter Fischer den weißen Stoff, den das Rezept lieferte, und es kam natürlichem Elfenbein schon sehr nahe.

Bis daraus schliesslich das Material wurde, das von seinem natürlichen Vorbild weder beim Anschauen noch beim Berühren kaum zu unterscheiden ist, mussten die Stuttgarter Forscher allerdings ein paar zusätzliche Schritte unternehmen. Das taten sie gemeinsam mit Mitarbeitenden der Firma Sauter, denen sie mehrmals Proben lieferten.



75

Die Klavierbauer bearbeiteten die Plättchen auf genau die gleiche Weise, wie es früher bei natürlichem Elfenbein üblich gewesen war, und testeten sie in ihren Klaviaturen. Dem Stuttgarter Forscherteam meldeten sie dann zurück, welche Eigenschaften noch optimiert werden könnten.

Unterdessen analysierten Sarah Parks und Dieter Fischer unterschiedliche Varianten des synthetischen Elfenbeins im Labor. Die Wissenschaftler maßen in verschiedenen

Experimenten, wie viel Feuchtigkeit es aufnimmt, seine Wärmeleitfähigkeit, seine Härte und auch die Haftung. Für die Untersuchung der Rutschfestigkeit konstruierten sie einen künstlichen Finger, einen gefederten Stab, dessen Ende sie mit Leder überzogen. „Leder ist zwar nicht das Gleiche wie die menschliche Haut, es ähnelt ihr aber ziemlich“, sagt Sarah Parks. „Außerdem ging es uns mehr um den Vergleich verschiedener Proben.“ Dafür legte die Wissenschaftlerin den prüfenden Finger auf eines der Testmaterialien,

schob das Plättchen unter ihm hindurch und ermittelte die dafür notwendige Kraft.

Die Tests im Labor und in der Piano-fortemanufaktur absolvierte das synthetische Elfenbein anstandslos: Es fühlt sich so warm an wie das natürliche Vorbild, es kann die Feuchtigkeit der Finger ähnlich gut aufnehmen, und es ist auch etwa so rutschfest. Dabei lässt sich die Haftung des Materials sogar nach den individuellen Bedürfnissen von Pianisten optimieren. Auf deren Tastengefühl

→

kommt es schließlich an. Und so musste das Elfenbein aus dem Reagenzglas die eigentliche Bewährungsprobe auch nicht im Labor, sondern unter den Fingern eines Pianisten bestehen. Klar, dass das Stuttgarter Team nach Spaichingen gereist war, als zum ersten Mal ein ausgebildeter Musiker das Klavierspielte, für dessen weiße Tastenbeläge Sauter das Material aus dem Max-Planck-Institut für Festkörperforschung verwendet hatte. Stücke von Chopin, Schubert und Liszt holte Eugene Mursky aus den Elfenbeintasten, von Klavierbauern und Grundlagenforschern umringt, die sich über sein anschließendes Lob

noch mehr freuten als über das Konzert: „Wirklich toll, warm wie echtes Elfenbein“, sagte Mursky, der schon auf historischen Pianos mit echtem Elfenbein gespielt hatte.

## Ivortec wird das synthetische Elfenbein vermarkten

Inzwischen sind schon viele Finger über die Klaviatur aus synthetischem Elfenbein gelaufen. „Die ersten Pianistinnen und Pianisten, die unsere Instrumente bis jetzt gespielt

haben, äußerten sich positiv über die Spieleigenschaften dieses synthetischen Elfenbeins“, sagt Sauter-Geschäftsführer Otto Hott. Was sie gegenüber den vorher verwendeten Ersatzstoffen einhellig schätzen: Sie rutschen weniger. Klar, nach den erfolgreichen Tests will Sauter das synthetische Elfenbein künftig serienmäßig in seinen Klavieren und Flügeln verarbeiten. Dafür genug Material herzustellen, ist aber nicht mehr Sache des Max-Planck-Instituts. Daher hat Jochen Mannhart gemeinsam mit der Max-Planck-Gesellschaft und dem externen Geschäftsführer David Butcher im Juli 2019 das Unternehmen Ivortec

Viele Anwendungsmöglichkeiten: Ein Max-Planck-Mitarbeiter hat aus synthetischem Elfenbein Schachfiguren gedreht. Das Material könnte aber auch in der Möbelindustrie oder im Jachtbau Verwendung finden.



gegründet, das synthetisches Elfenbein auf den Markt bringen wird – und das nicht nur als Belag von Pianotasten.

Die Max-Planck-Forscher haben selbst noch Kontakt zu einem Schmuckdesigner gesucht, der das edel anmutende Material in einem Anhänger verarbeitet hat, ein Künstler hat die Replik einer steinzeitlichen Vogelfigur aus Elfenbein geschnitzt, und Manfred Schmid, ein Mitarbeiter in Mannharts Gruppe, hat daraus in einer Werkstatt des Instituts schon die Figuren eines Schachspiels gedreht. Das Elfenbein aus dem Reagenzglas lässt sich auch deshalb so vielfältig

anwenden, weil Sarah Parks und Dieter Fischer einen Weg gefunden haben, mit einem leicht abgewandelten Verfahren Elfenbein in Zylinderform herzustellen. So wundert es nicht, dass David Butcher eine lange Liste von Ideen im Kopf hat, was sich mit dem Material alles machen ließe. Der Geschäftsführer von Ivortec wirbt deshalb nicht nur Startkapital ein und baut Kooperationen mit Produktionsfirmen auf, er knüpft auch Kontakte zu Unternehmen, für die synthetisches Elfenbein ein interessanter Werkstoff sein dürfte. So könnte es an vielen Stellen Kunststoffe ersetzen, aber auch Holz. „Bei Möbelherstellern

und Jachtbauern ist das Elfenbein auf großes Interesse gestoßen, nicht nur weil es edel aussieht, sondern auch weil es erst bei 1000 Grad Celsius brennt – ein dekorativer Feuerschutz also“, sagt Butcher. Punkten kann das Material gerade gegenüber Kunststoffen auch in Sachen Nachhaltigkeit. Zum einen wird es nicht aus fossilen Rohstoffen produziert, zum anderen ist es am Ende seiner Lebensdauer biologisch abbaubar. Das synthetische Elfenbein erlaubt Pianisten also nicht nur ein Spielgefühl, das ihnen wegen des Artenschutzes ansonsten verwehrt bliebe, sondern hinterlässt, anders als Plastik, auch keinen Müll. ←



FOTO: WOLFRAM SCHEIBLE

## AUF DEN PUNKT GEBRACHT

Einem Max-Planck-Team ist es gelungen, synthetisches Elfenbein herzustellen, das dem natürlichen Material sehr ähnelt.

Bei der Synthese mischen die Forschenden Hydroxylapatit-Partikel in gelöste Gelatine, die sich aus Kollagen, dem organischen Bestandteil von Elfenbein, gebildet hat. Bislang gingen Chemiker davon aus, die Hydroxylapatitkristalle müssten wie bei der natürlichen Entstehung in Kollagen wachsen.

Das synthetische Elfenbein soll unter anderem für Beläge von Klaviertasten verwendet werden, weil es Pianisten dasselbe Tastengefühl gibt wie das natürliche Vorbild. Es könnte aber auch als schwer entflammbare und biologisch abbaubare Alternative zu Holz und Kunststoffen dienen.



Den Himmel im Blick: Das Barbados Cloud Observatory (BCO) umfasst eine Reihe meteorologischer Instrumente, mit denen Wissenschaftler unter anderem die Verteilung von Wolken, Aerosolen und Wasserdampf untersuchen.

78

Max-Planck-Forschende kooperieren mit Partnern in rund 120 Ländern der Erde. Hier schreiben sie über persönliche Erlebnisse und Eindrücke. Theresa Lang vom Max-Planck-Institut für Meteorologie in Hamburg war im Rahmen des Wolkenforschungsprojekts EUREC4A für rund zwei Wochen auf der Karibikinsel Barbados. Sie erzählt von Wetterballons, freundlichen Inselbewohnern und einem unerwarteten Highlight.

Als ich am 20. Januar in Bridgetown aus dem Flugzeug stieg, dachte ich, mich trifft der Schlag. Die Kombination von extremer Hitze und hoher Luftfeuchtigkeit war ein zu starker Kontrast zum nasskalten Hamburg, dem ich wenige Stunden zuvor entflohen war. Nach zwei Tagen hatte ich mich aber an die tropischen Temperaturen gewöhnt. Und das war auch

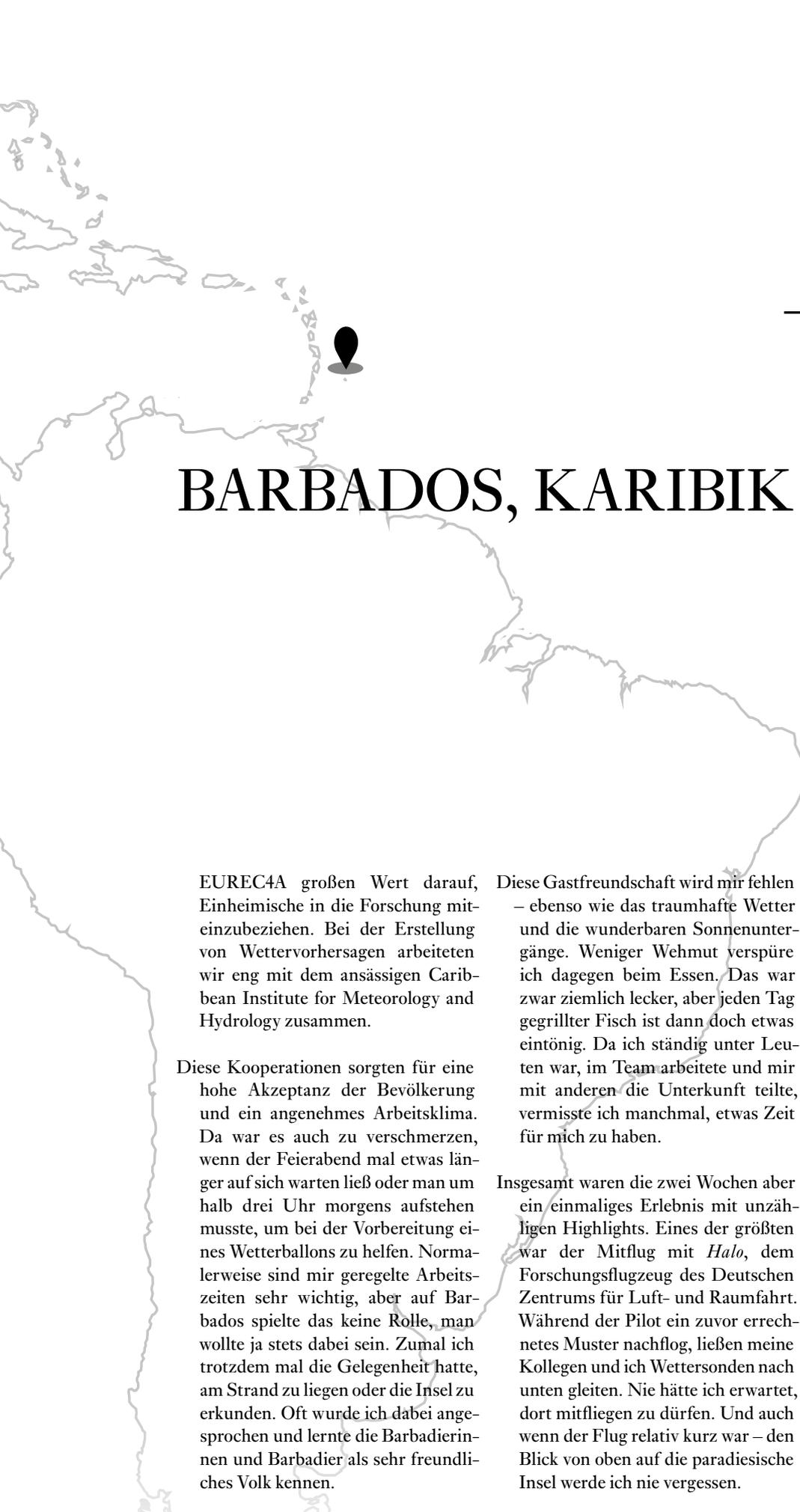
gut so, denn das Wetter sollte sich in den nächsten zwei Wochen kaum ändern.

Ums Wetter ging es auch bei der Forschung. Ich war Teil von EUREC4A, einem internationalen Projekt, das untersucht, wie Wolken auf eine Veränderung des Klimas reagieren; und wie sich diese Veränderung langfristig auf die Klimaentwicklung auswirkt. Konkret interessieren wir uns für tiefe Bewölkung – also Wolken in zwei Kilometer Höhe, die typisch sind für Passatregionen wie Barbados. Diese reflektieren Sonnenstrahlung besonders stark und üben somit einen gewichtigen Effekt aus. Es ist daher interessant zu wissen, wie sich diese Wolken bei verändertem Klima verhalten. Außerdem wollen wir herausfinden, warum sich Wolken überhaupt auf verschiedene Weise organisieren – was zufällig abzulaufen scheint: Mal sind sie einzeln über den Himmel verteilt, mal sind alle zu einem großen Knäuel

geclustert. Um diese Prozesse aufzuklären, nutzten wir eine Armada aus Forschungsschiffen, Flugzeugen und Bodenmessstationen. Meine anfängliche Angst, ich könnte nichts zu tun haben, löste sich schneller in Luft auf als eine Gewitterwolke an einem Sommertag.

Gerade in den ersten Tagen mangelte es nicht an Aufgaben. Ich half beispielsweise dabei, Messungen vom Vortag auszuwerten, um daraus tägliche Wetterzusammenfassungen zu erstellen. Spannend war auch, die Wetterballons vorzubereiten, die im Vier-Stunden-Rhythmus in den Himmel stiegen.

Vor Ort waren insgesamt rund hundert Leute am Projekt beteiligt. Viele arbeiten wie ich am Max-Planck-Institut für Meteorologie, dazu kamen aber auch Forschende aus aller Herren Länder – insgesamt also ein bunter internationaler Haufen. Zudem legten die Verantwortlichen von



## BARBADOS, KARIBIK

EUREC4A großen Wert darauf, Einheimische in die Forschung mit-einzubeziehen. Bei der Erstellung von Wettervorhersagen arbeiteten wir eng mit dem ansässigen Caribbean Institute for Meteorology and Hydrology zusammen.

Diese Kooperationen sorgten für eine hohe Akzeptanz der Bevölkerung und ein angenehmes Arbeitsklima. Da war es auch zu verschmerzen, wenn der Feierabend mal etwas länger auf sich warten ließ oder man um halb drei Uhr morgens aufstehen musste, um bei der Vorbereitung eines Wetterballons zu helfen. Normalerweise sind mir geregelte Arbeitszeiten sehr wichtig, aber auf Barbados spielte das keine Rolle, man wollte ja stets dabei sein. Zumal ich trotzdem mal die Gelegenheit hatte, am Strand zu liegen oder die Insel zu erkunden. Oft wurde ich dabei angesprochen und lernte die Barbadierinnen und Barbadier als sehr freundliches Volk kennen.

Diese Gastfreundschaft wird mir fehlen – ebenso wie das traumhafte Wetter und die wunderbaren Sonnenuntergänge. Weniger Wehmut verspüre ich dagegen beim Essen. Das war zwar ziemlich lecker, aber jeden Tag gegrillter Fisch ist dann doch etwas eintönig. Da ich ständig unter Leuten war, im Team arbeitete und mir mit anderen die Unterkunft teilte, vermisste ich manchmal, etwas Zeit für mich zu haben.

Insgesamt waren die zwei Wochen aber ein einmaliges Erlebnis mit unzähligen Highlights. Eines der größten war der Mitflug mit *Halo*, dem Forschungsflugzeug des Deutschen Zentrums für Luft- und Raumfahrt. Während der Pilot ein zuvor errechnetes Muster nachflog, ließen meine Kollegen und ich Wettersonden nach unten gleiten. Nie hätte ich erwartet, dort mitfliegen zu dürfen. Und auch wenn der Flug relativ kurz war – den Blick von oben auf die paradiesische Insel werde ich nie vergessen.



FOTO: PRIVAT

Theresa Lang

25, studierte Meteorologie an der Universität Hamburg und am University Centre in Svalbard (Spitzbergen). Seit Juli 2019 promoviert sie an der International Max Planck Research School der Universität Hamburg und des Max-Planck-Instituts für Meteorologie. In der Abteilung „Atmosphäre im Erdsystem“ von Direktor Björn Stevens beschäftigt sie sich mit der Verteilung von Wasserdampf in der freien Troposphäre.

## STREITBARE MORAL

Karl Marx ist fast 150 Jahre tot, der real existierende Sozialismus seit mehr als 30 Jahren Geschichte. Trotzdem ist die Kritik am kapitalistischen System höchst lebendig. Anlass für Ute Frevert, Direktorin am Max-Planck-Institut für Bildungsforschung, das Verhältnis von Kapitalismus, Märkten und Moral historisch zu durchleuchten. In ihrem Buch skizziert sie, welche Grenzen Politik, Philosophie und Gesellschaft der Marktwirtschaft früher und heute setzten und setzen. Moral versteht Frevert dabei als „Korrekturquelle des Kapitalismus jenseits des Eigeninteresses der Marktteilnehmer“. Die Historikerin thematisiert dabei auch kritisch die Entwicklung der vergangenen Jahrzehnte, in denen die Gesetze des Marktes zunehmend mehr Lebensbereiche durchdrungen haben. Die Diskussion darüber zeige jedoch, dass die Gesellschaft das Problem erkannt hat und beginnt, Grenzen zu ziehen. Fast noch interessanter als die Historie lesen sich Freverts Ausführungen zu den Wertekonflikten unserer Zeit. Seit sich moderne Gesellschaften von einer alleinherrschenden Moral verabschiedet haben, stehen sich gegensätzliche Wertvorstellungen unversöhnlich gegenüber. Freverts Erklärung: Moral ist gefühlsbeladen. Wer seine Werte verletzt sieht, reagiert

Ute Frevert

### KAPITALISMUS, MÄRKTE UND MORAL

Gibt es einen moralischen Kapitalismus? Gab es ihn früher mehr als heute? Woher kam und kommt die Moral? Steckt sie im Kapitalismus, oder wird sie ihm von außen verordnet? Wie weit reicht die Macht der ProduzentInnen und KonsumentInnen?

Residenz Verlag

mit Empörung, Kompromisse sind nicht möglich. Das erhellt einige der aktuellen gesellschaftlichen Kontroversen und erklärt die Aggression, mit der die Auseinandersetzungen vielfach geführt werden. *Mechthild Zimmermann*

Ute Frevert  
Kapitalismus, Märkte und Moral  
152 Seiten, Residenz Verlag  
20,00 Euro



## VOM SCHEITERN GROSSARTIGER IDEEN

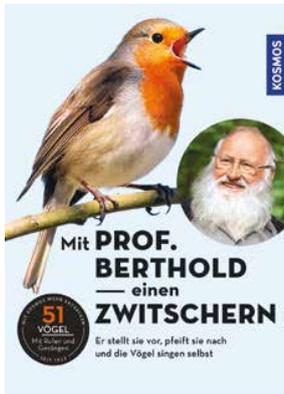
Von Zynismus über schrille Forderungen bis zu Lethargie, Ignoranz oder Aktionismus: Der fehlende Fortschritt hin zu mehr Nachhaltigkeit führt zu unterschiedlichen Reaktionen. Trotz vieler Jahrzehnte des Diskurses, globaler Konferenzen und internationaler Verträge ist die Welt weit davon entfernt, die Lebensgrundlage künftiger Generationen zu sichern. Autor Christian Berg beschäftigt sich seit fast 20 Jahren mit dem „Phasenübergang“ zu zukunftsfähigem Handeln – und hat immer wieder erlebt, wie großartige Ideen nicht umgesetzt wurden. Er wollte wissen, warum das so ist

und was wir tun können, um dies zu ändern. In seinem Bericht an den Club of Rome, in dessen deutschem Präsidium er Mitglied ist, nimmt er die Ursachen der Nicht-Nachhaltigkeit in den Blick, ohne die Utopie einer nachhaltigeren Welt aufzugeben. Entstanden ist dabei eine interdisziplinäre Analyse, die differenziert Prozesse auf verschiedenen Ebenen betrachtet und Lösungsansätze für unterschiedliche Akteure entwickelt. Besonders wohltuend: Christian Berg erliegt nie der Versuchung, die eine Lösung für komplexe Herausforderungen zu präsentieren und Nachhaltigkeit auf ein-

zelne wenige Aspekte wie Klimaneutralität zu reduzieren. So ist ein anspruchsvolles Buch entstanden, das sich einer klaren Sprache bedient und Verständnis dafür schafft, warum selbst gut gemeinte Aktionen nicht unbedingt zum Erfolg führen und manchmal sogar hinderlich sein können. *Barbara Abrell*

Christian Berg  
Ist Nachhaltigkeit utopisch?  
464 Seiten, oekom Verlag  
32,00 Euro

# NEU ERSCHIENEN



## VORGEPIFFEN, NACHGEHÖRT

„Pix“, „waak, waak“, „tschirr, tschirr, djäg, trschet“ – für den Vogelkenner verbergen sich hinter diesen Lautmalereien die Rufe von Blässhuhn, Stockente und Teichrohrsänger. Für alle, die mit solchen Tönen noch nicht so vertraut sind, hat Peter Berthold eine CD mit den Gesängen und Rufen unserer häufigsten Vögel herausgegeben. Der ehemalige Direktor am Max-Planck-Institut für Ornithologie in Radolfzell ist ein Meister darin, seine über alles geliebten „Piepmätze“ zu imitieren. Wenn Berthold pfeift, verwechseln ihn die Vögel der Umgebung schon mal mit einem der ihnen. Der Wissenschaftler stellt auf der CD 51 bekannte Vogelarten jeweils in wenigen Sätzen vor und beschreibt ihre Rufe oder Gesänge. Dann darf der betreffende Vogel selbst seine Künste zum Besten geben. Zum Gesamtpaket gehören ein übersichtlich gestaltetes Büchlein mit Steckbriefen der Arten sowie eine App für das Smartphone. Für den Anfänger bieten die ausgewählten Arten Orientierung in der verwirrenden Vielfalt der Vogelstimmen. Schade nur, dass CD und Buch mit Vögeln beginnen, die weniger an ihren Lautäußerungen als an ihrem Äußeren erkannt werden (Enten-, Hühner-, Schreitvögel). Die eigentlichen Singvögel folgen dann erst am Ende. Mit seinen Imitationen verleiht der Autor jedem Vogel eine individuelle Note und erleichtert dadurch das Einprägen. Und auch der erfahrenere Hörer kann von den Kommentaren und Anekdoten Bertholds noch einiges lernen.  
*Harald Rösch*

Peter Berthold  
Mit Prof. Berthold einen zwitschern  
CD, Buch & App, Franckh-Kosmos Verlag  
10,00 Euro

## EXPLOSIVES THEMA

Seit 1945 leben die Deutschen mit der Atombombe. Die Entspannungspolitik der 1990er-Jahre schien die Gefahr eines Atomkriegs gebannt zu haben. Dass trotz der Abrüstung das Risiko wieder wächst, wird in der Öffentlichkeit kaum diskutiert. Werner Sonne, der über viele Jahre für die ARD als Auslands- und Hauptstadtkorrespondent das politische Weltgeschehen beobachtete, hebt mit seinem Buch das Problem ins Bewusstsein. Der erste Teil bietet eine Analyse der Situation seit 2014. Das Auslaufen des INF-Vertrags zum Abbau von Mittelstreckenwaffen, eine veränderte weltpolitische Lage und neue strategische Atomwaffen könnten einen nuklear ausgetragenen Konflikt hervorrufen und stellen Deutschland und Europa vor die Frage nach ihrer militärischen Strategie. Der zweite Teil des Buchs ist der militärischen Nutzung der Kernkraft gewidmet, beginnend mit der Entde-



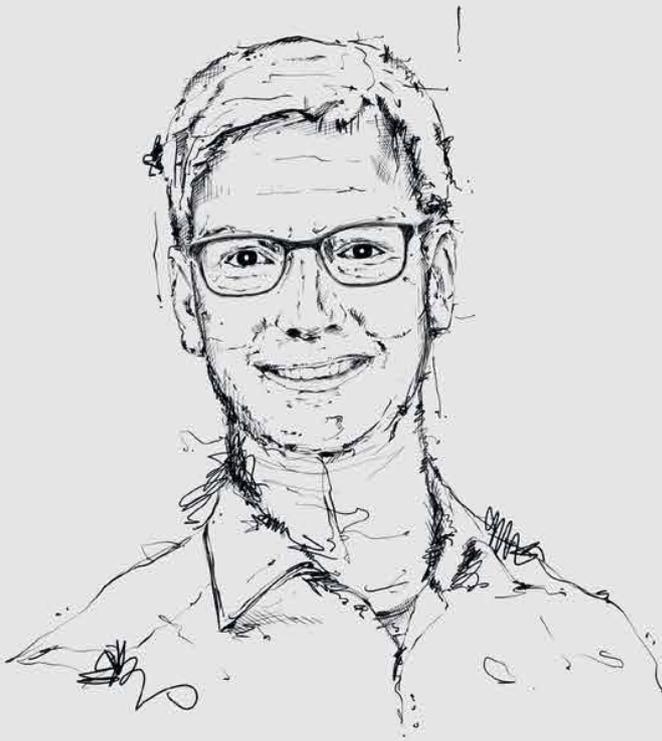
ckung der Urankernspaltung durch Otto Hahn und Fritz Straßmann. Die Rolle der Wissenschaftler und Ingenieure thematisiert der Autor nur mit Blick auf die 1940er- und 1950er-Jahre: Einerseits technische Impulsgeber, appellierten viele von ihnen andererseits an die Politiker, die Technik nicht einzusetzen. Werner Sonne verzichtet jedoch auf eine Vertiefung dieses Themas. Journalistisch angelegt, bietet das Buch – das sich auf umfassende Gespräche mit Zeitzeugen und Beteiligten stützt – eine interessante Lektüre zu einem brisanten, in den Medien unterbelichteten Thema.  
*Susanne Kiewitz*

Werner Sonne  
Leben mit der Bombe  
203 Seiten, Springer Verlag  
19,99 Euro

# FÜNF FRAGEN

## ZU PROTESTWAHLEN

AN ARMIN SCHÄFER



**Herr Schäfer, Ihr Thema ist die spannende Frage der politischen Ungleichheit. Zu welchen Ergebnissen sind Sie gekommen?**

82 ARMIN SCHÄFER Mit meinem Forschungsteam haben wir festgestellt, dass politische Entscheidungen des Bundestags zulasten von Menschen mit geringerem Einkommen und geringerer Bildung verzerrt sind. Das wiederum kann eine Triebfeder dafür sein, nicht zu wählen: Weil sie sich nicht mehr vertreten fühlen, wenden sich diese Menschen von der Politik ab und bleiben am Wahltag zu Hause. Dieses Muster haben wir für drei Bundestagswahlen, also 2009, 2013, 2017, angeschaut. Und in allen deutschen Großstädten, für die es diese Daten gibt, ist das Ergebnis eindeutig: Je ärmer ein Stadtteil ist, je niedriger die Durchschnittseinkommen in einem Stadtteil sind, desto geringer ist die Wahlbeteiligung.

**Hat der Aufstieg des Populismus etwas mit politischer Ungleichheit zu tun?**

Die AfD mobilisiert einen Teil der früheren Nichtwählerinnen und Nichtwähler. Der größere Teil bleibt allerdings weiterhin zu Hause. Durch die stärkere Polarisierung beteiligen sich aber insgesamt mehr Menschen. Manche wollen einen Denkkzettel verteilen, andere wollen Wahlerfolge von Populisten gerade verhindern. Insofern ist das Bild ein bisschen komplizierter. Vermehrte Protestwahlen zeigen uns aber, dass es in der Bevölkerung Gruppen gibt, die das Gefühl

haben, bislang nicht repräsentiert zu sein. Sie haben nicht den Eindruck, dass die etablierten Parteien zu ihnen sprechen, ihnen etwas anbieten und dass sich ihre Lage dadurch verändern könnte.

**Warum verzichten Menschen darauf zu wählen?**

Zunächst einmal wissen wir: Wählen und Nichtwählen sind ansteckend. Man entscheidet nicht rein individuell, ob man wählen geht oder nicht. Sondern das hat auch etwas zu tun mit der Familie, dem Freundeskreis, vielleicht auch mit der Gegend, in der man lebt. Ein zweiter Aspekt ist: Wenn Politik ungleich auf unterschiedliche Gruppen reagiert, dann droht ein Teufelskreis. Wer sich nicht vertreten fühlt, wählt nicht – und wer nicht wählt, wird schlechter repräsentiert. Im Ergebnis verzerrt dieses Wechselspiel politische Entscheidungen zugunsten derjenigen, die sich beteiligen und denen es ohnehin besser geht.

**Das heißt, die Repräsentation in den Parteien und Parlamenten entspricht immer weniger dem Querschnitt der Bevölkerung?**

Mehr als 80 Prozent der Abgeordneten des Bundestags haben studiert, in der Bevölkerung sind es weniger als 20 Prozent. Auch Beamte, Unternehmer oder Juristen sind in den Parlamenten weit häufiger als in der Bevölkerung anzutreffen. Das zeigt: Zwischen denen, die die politischen Entscheidungen treffen, und denen, die von den politischen

Entscheidungen betroffen sind, gibt es deutliche Unterschiede. Die Entscheidungen des Bundestags haben in den letzten dreißig Jahren sehr viel häufiger mit den Präferenzen von Menschen übereingestimmt, die hohe Einkommen haben oder denen es insgesamt besser geht. Und diese Diskrepanz ist dann besonders groß, wenn Arm und Reich verschiedene Dinge wollen.

**Wie können wir aus diesem Teufelskreis herauskommen?**

Wir wissen, dass Menschen sich nicht einfach spontan politisch beteiligen, sondern dies eher tun, wenn sie aktiv angesprochen und zur Mitgliedschaft ermutigt werden. Die Parteien müssen genauer darauf achten, wen sie ermutigen. Das geschieht ja bereits teilweise mit Blick auf Frauen oder, in geringerem Ausmaß, mit Blick auf Migranten. Parteien sollten nicht ausschließlich jene zur Kandidatur ermuntern, die einen Universitätsabschluss haben. Demokratie beinhaltet das Versprechen, dass unterschiedliche Gruppen zumindest die Chance haben, ihre Anliegen in politische Entscheidungen einzubringen. Wenn das systematisch nicht der Fall ist, sehe ich darin eine Gefahr für die Demokratie.

Interview: Jürgen Zurheide

Professor Armin Schäfer war im Wintersemester 2019/20 Scholar in Residence am Max-Planck-Institut für Gesellschaftsforschung in Köln.

- Institut / Forschungsstelle
- Teilinstitut / Außenstelle
- Sonstige Forschungseinrichtungen
- Assoziierte Forschungseinrichtungen

**Niederlande**

- Nimwegen

**Italien**

- Rom
- Florenz

**USA**

- Jupiter, Florida

**Brasilien**

- Manaus

**Luxemburg**

- Luxemburg



IMPRESSUM

*Max Planck Forschung* wird herausgegeben von der Wissenschafts- und Unternehmenskommunikation der Max-Planck-Gesellschaft zur Förderung der Wissenschaften e. V., vereinsrechtlicher Sitz: Berlin. ISSN 1616-4172

**Redaktionsanschrift**  
 Hofgartenstraße 8  
 80539 München  
 089 2108-1719 / -1276 (vormittags)  
 mpf@gv.mpg.de  
 www.mpg.de/mpforschung  
 Kostenlose App: www.mpg.de/mpfmobil

**Verantwortlich für den Inhalt**  
 Dr. Christina Beck (-1276)

**Redaktionsleitung**  
 Peter Hergersberg (Chemie, Physik, Technik; -1536)  
 Helmut Hornung (Astronomie; -1404)

**Redaktion**  
 Dr. Harald Rösch (Biologie, Medizin; -1756)  
 Mechthild Zimmermann (Kultur, Gesellschaft; -1720)

**Bildredaktion**  
 Susanne Schauer (-1562)  
 Annabell Kopp (-1819)

**Konzeptionelle Beratung**  
 Sandra Teschow und Thomas Susanka  
 www.teschowundsusanka.de

**Gestaltung**  
 GCO Medienagentur  
 Schaezlerstraße 17  
 86150 Augsburg  
 www.gco-agentur.de

**Druck & Vertrieb**  
 Vogel Druck & Medienservice GmbH  
 Leibnizstraße 5  
 97204 Höchberg

**Anzeigenleitung**  
 Beatrice Rieck  
 Vogel Druck & Medienservice GmbH  
 Leibnizstraße 5  
 97204 Höchberg  
 0931 4600-2721  
 beatrice.riECK@vogeldruck.de

*Max Planck Forschung* berichtet über aktuelle Forschungsarbeiten an den Max-Planck-Instituten und richtet sich an ein breites wissenschaftsinteressiertes Publikum. Die Redaktion bemüht sich, auch komplexe wissenschaftliche Inhalte möglichst allgemeinverständlich aufzubereiten. Das Heft erscheint in deutscher und englischer Sprache (*Max Planck Research*) jeweils mit vier Ausgaben pro Jahr. Die Auflage dieser Ausgabe beträgt 85 000 Exemplare (*Max Planck Research*: 10 000 Exemplare). Der Bezug ist kostenlos. Ein Nachdruck der Texte ist nur mit Genehmigung der Redaktion gestattet; Bildrechte können nach Rücksprache erteilt werden. Die in *Max Planck Forschung* vertretenen Auffassungen und Meinungen können nicht als offizielle Stellungnahme der Max-Planck-Gesellschaft und ihrer Organe interpretiert werden.

Die Max-Planck-Gesellschaft zur Förderung der Wissenschaften e.V. unterhält 86 Institute und Forschungseinrichtungen, in denen rund 23 900 Personen forschen und arbeiten, davon etwa 6900 Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler. Der Jahresetat 2019 umfasste insgesamt 1,86 Milliarden Euro. Die Max-Planck-Institute betreiben Grundlagenforschung in den Natur-, Lebens- und Geisteswissenschaften. Die Max-Planck-Gesellschaft ist eine gemeinnützige Organisation des privaten Rechts in der Form eines eingetragenen Vereins. Ihr zentrales Entscheidungsgremium ist der Senat, in dem Politik, Wissenschaft und sachverständige Öffentlichkeit vertreten sind.

Zur besseren Lesbarkeit haben wir in den Texten teilweise nur die männliche Sprachform verwendet. Mit den gewählten Formulierungen sind jedoch alle Geschlechter gleichermaßen angesprochen.

*Max Planck Forschung* wird auf Papier aus vorbildlicher Forstwirtschaft gedruckt und trägt das Siegel des Forest Stewardship Council® (FSC®).



**MAX PLANCK**  
GESELLSCHAFT

