

Ausgabe 01 | 2025

# MAX PLANCK

## *Forschung*

ASTROPHYSIK  
Pötz Blitz!

RECHTSWISSENSCHAFTEN  
Schöne neue Netzwelt

BIOLOGIE  
Proteine, die krank machen

An abstract graphic featuring a bright, glowing white light source at the top center, from which several beams of light radiate downwards. The beams are primarily blue, with some showing a gradient from white to blue. The background is a deep, dark blue, creating a sense of depth and focus on the light beams.

VOLLE LADUNG

A photograph of two spotlights mounted on a ceiling against a dark background. The spotlight on the right is turned on, casting a bright, wide beam of light. The spotlight on the left is turned off, showing only a small, dim light source. The beams of light create a strong contrast with the dark surroundings.

**D**as funzt: Die Technik des Max-Planck-Spin-offs Batene optimiert Batterien sichtbar. Bei gleicher Menge an Speichermaterial erhöht sie deren Leistung beträchtlich. Das ist ein Beispiel, wie Max-Planck-Forschung bei der Transformation hin zu einer Energieversorgung aus erneuerbaren Quellen hilft. Mehr darüber erfahren Sie im Fokus dieser Ausgabe.

FOTO: BATENE

# EDITORIAL

---

Liebe Leserinnen und Leser,

Energieversorgung ist eine Frage der Sicherheit, und das in mehrerlei Hinsicht. Zunächst einmal geht es um die Versorgungssicherheit, darum dass Strom und Wärme immer verfügbar sind, wenn sie gebraucht werden. Diese Anforderung ist jedoch unmittelbar mit einer Frage von sicherheitspolitischer Bedeutung verknüpft: Von welchen Ländern beziehen wir unsere Energie? So hat Russland im Zuge seines Angriffskriegs in der Ukraine 2022 versucht, seine Gasexporte als politisches Druckmittel einzusetzen. Schon aus diesem Grund ist eine Transformation hin zu erneuerbaren Energien sinnvoll. Denn diese können Deutschland unabhängiger machen von Energieimporten aus kritischen Ländern und sind zudem preiswerter. Und nicht zuletzt ist eine Abkehr von fossilen Brennstoffen notwendig, um den Klimawandel zu bremsen. Die steigenden Temperaturen führen zu immer häufigeren und stärkeren Extremwetterereignissen – nicht nur in Deutschland, sondern weltweit. Die Schadensbilanz ist enorm und belief sich 2024 weltweit auf 320 Milliarden US-Dollar.

Vor diesem Hintergrund ist das Wissenschaftsjahr 2025, das dem Thema Zukunftsenergie gewidmet ist, zeitgemäß gesetzt. Passend dazu präsentieren wir im Fokus dieser Ausgabe Forschung und auch Entwicklung zu Fragen der künftigen Energieversorgung. Dabei berichten wir in zwei Beiträgen über die Pläne, Fortschritte und Herausforderungen von Start-ups, die aus Max-Planck-Instituten heraus gegründet wurden und Erkenntnisse aus der Grundlagenforschung kommerzialisieren wollen. So könnte die Batene GmbH mit Sitz im baden-württembergischen Wendlingen helfen, eines der großen Probleme der Energiewende zu bewältigen. Ihre Technik macht Batterien deutlich leistungsfähiger sowie kostengünstiger und hilft so, erneuerbare Energie zu speichern und vor allem in der Mobilität konkurrenzfähig zu fossilen Treibstoffen zu machen. Kein Wunder, dass große Automobilunternehmen sich sehr für diese Technik interessieren, die der Batterieindustrie in Deutschland einen großen Wettbewerbsvorteil verschaffen könnte. Die größte Konkurrenz in Europa kommt dabei aus Ungarn. Das Land setzt bei der Stromerzeugung zwar vor allem auf Kernenergie und kaum auf Erneuerbare, fördert aber wegen des ökonomischen Potenzials massiv die Batterieproduktion – mit Folgen für Wirtschaft, Umwelt und Geostrategie.

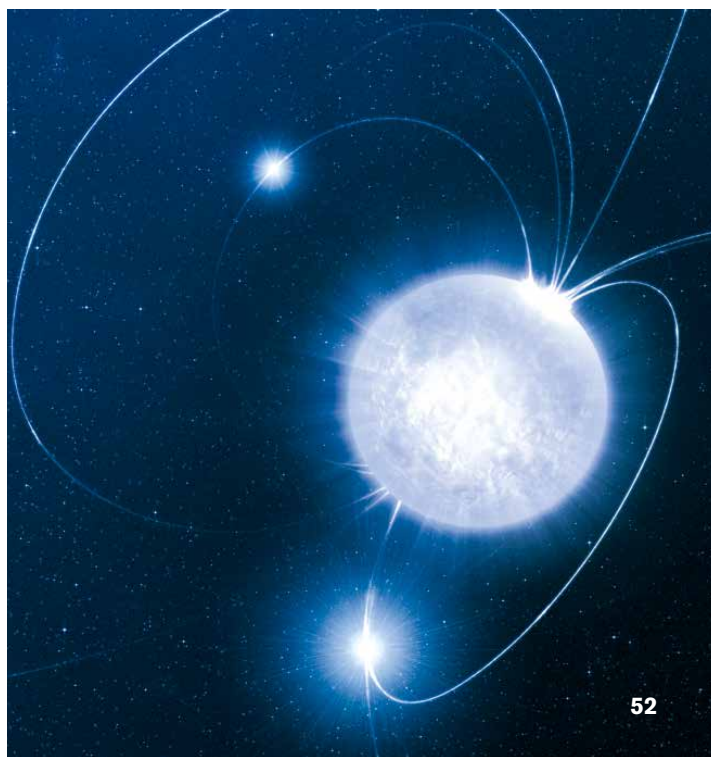
Völlig neue Möglichkeiten in der Energieversorgung ergeben sich, wenn das Geschäftsmodell einer anderen Max-Planck-Ausgründung aufgeht: Das Münchner Start-up Proxima Fusion, das aus dem Max-Planck-Institut für Plasmaphysik entstanden ist, will bis 2031 eine Anlage entwickeln, die mithilfe der Kernfusion erstmals mehr Energie erzeugt, als sie verbraucht. Wir schildern, wo das Unternehmen steht und welche Hürden es noch nehmen muss. In der Fusionsforschung tut sich gerade viel, und es wird spannend zu sehen, welche Entwicklung sich am Ende durchsetzen wird.

In diesem Sinne wünschen wir Ihnen inspirierende Lektüre.

Ihr Redaktionsteam



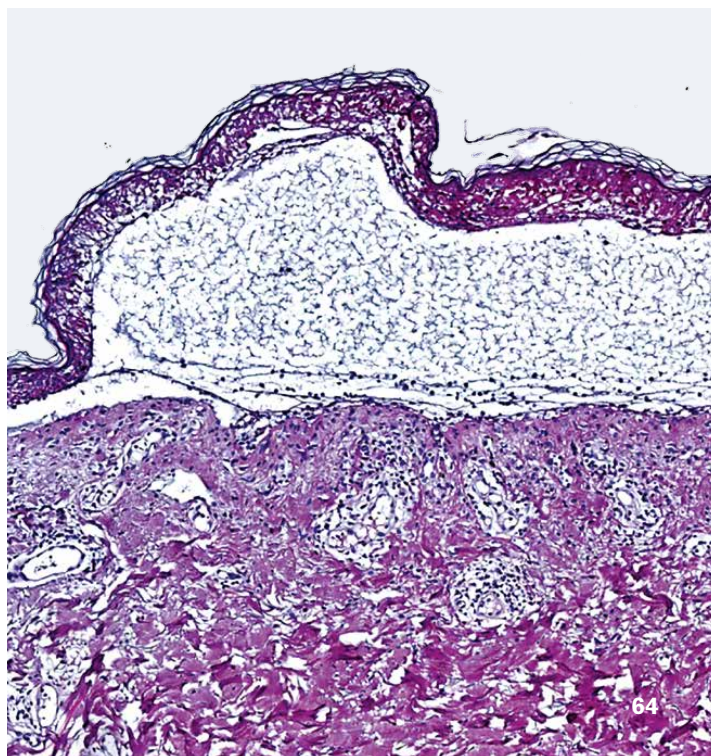
32



52



68



64

BILDER: BERNHARD LUDEWIG / IPP (LINKS OBEN), ESO (RECHTS OBEN), ADOBESTOCK / ANDRII LYSENKO (LINKS UNTEN), DR. MED. T. NORDMANN (RECHTS UNTEN)

### 32 | AUFGEHEIZT

Graphitkacheln schützen die Plasmakammer einer Fusionsanlage.

### 52 | AUFGELADEN

Illustration eines Magnetars: Die Sternleichen mit extremem Magnetfeld könnten energie-reiche Radioblitze erzeugen.

### 64 | AUFGEKLÄRT

Eine ausgeklügelte Methode enthüllt, warum sich bei einer Nebenwirkung von Medikamenten die Haut ablöst.

### 68 | AUFGEWACHT

Lichtreize spielen eine entscheidende Rolle für unsere innere Uhr.

## 03 | EDITORIAL

## 06 | ORTE DER FORSCHUNG

Barbados Cloud Observatory

## 08 | KURZ NOTIERT

## 16 | ZUR SACHE

Globale Gesundheitsrisiken meistern

## 22 | INFOGRAFIK

Pandemien sind die Pest

## IM FOKUS

Volle Ladung

## 24 | Stoff für die Batteriewende

Die Batene GmbH macht Batterien mithilfe von Metallvliesen als Kontaktmaterial deutlich leistungsfähiger, sicherer und billiger.

## 32 | Im Endspurt zur Fusionskraft

Das Start-up Proxima Fusion arbeitet an einem marktreifen Fusionsreaktor. Anfang der 2030er-Jahre soll eine Demonstrationsanlage erstmals Energie erzeugen.

## 38 | Ungarns Batteriewette

Viktor Orbán ist dabei, sein Land zu einem der weltweit größten Produktionsstandorte für Batterien auszubauen. Max-Planck-Forscherin Pálma Polyák untersucht die Folgen dieser Wirtschaftsstrategie.

## 44 | BESUCH BEI

Arne Traulsen

## 50 | ZWEITER BLICK

## WISSEN AUS

## 52 | Potz Blitz!

Fast Radio Bursts setzen innerhalb von Millisekunden so viel Energie frei wie die Sonne innerhalb eines ganzen Jahres. Forschende wollen herausfinden, was die geheimnisvollen Blitze verursacht.

## 58 | Schöne neue Netzwelt

Max-Planck-Forschende untersuchen, wie die EU den digitalen öffentlichen Raum reguliert, welche Regelungen fehlen und wie die Macht gewinnorientierter Plattformen begrenzt werden könnte.

## 64 | Proteine, die krank machen

Bildanalyse mittels KI ermöglicht es, das Proteininventar einer Zelle zu erfassen sowie gesunde und kranke Zellen zu vergleichen. Das könnte dazu beitragen, Krebs und andere Krankheiten exakter zu diagnostizieren und maßgeschneiderte Therapien zu entwickeln.

## 68 | Von Nachtteulen und frühen Vögeln

Die innere Uhr steuert fast alle physiologischen Prozesse und bestimmt auch, ob Menschen Frühaufsteher oder Nachtteulen sind. Die Chronobiologie untersucht, wie Licht die innere Uhr kalibriert.

## 74 | POST AUS...

Sumbawa, Indonesien

## 76 | NEU ERSCIENEN

## 78 | FÜNF FRAGEN

Zur politischen Meinungsbildung in den sozialen Medien

## 79 | IMPRESSUM

5

## GEOMAX

Klimapuffer der Erde –  
Forschung untersucht  
die Dynamik von  
Kohlenstoffsinken



*EIN PUNKT  
IN DEN WOLKEN*

6 **H**immelblau mit Schleierwolken – was ist daran interessant? Dass dieser Wolkenhimmel zahlreiche Informationen in sich trägt, wissen Forschende, die den Wetterballon in der Bildmitte auf die Reise geschickt haben. An dem Ballon hängt eine Radiosonde, die wenige Zentimeter unterhalb des Ballons als winziger schwarzer Punkt zu erkennen ist. Die Sonde misst die horizontale Position und Höhe sowie Druck, Temperatur, Windgeschwindigkeit und Luftfeuchtigkeit. Sie funkt diese Daten zur Bodenstation Barbados Cloud Observatory, wo daraus ein Vertikalprofil der Atmosphäre bis in 30 Kilometer Höhe erstellt wird.

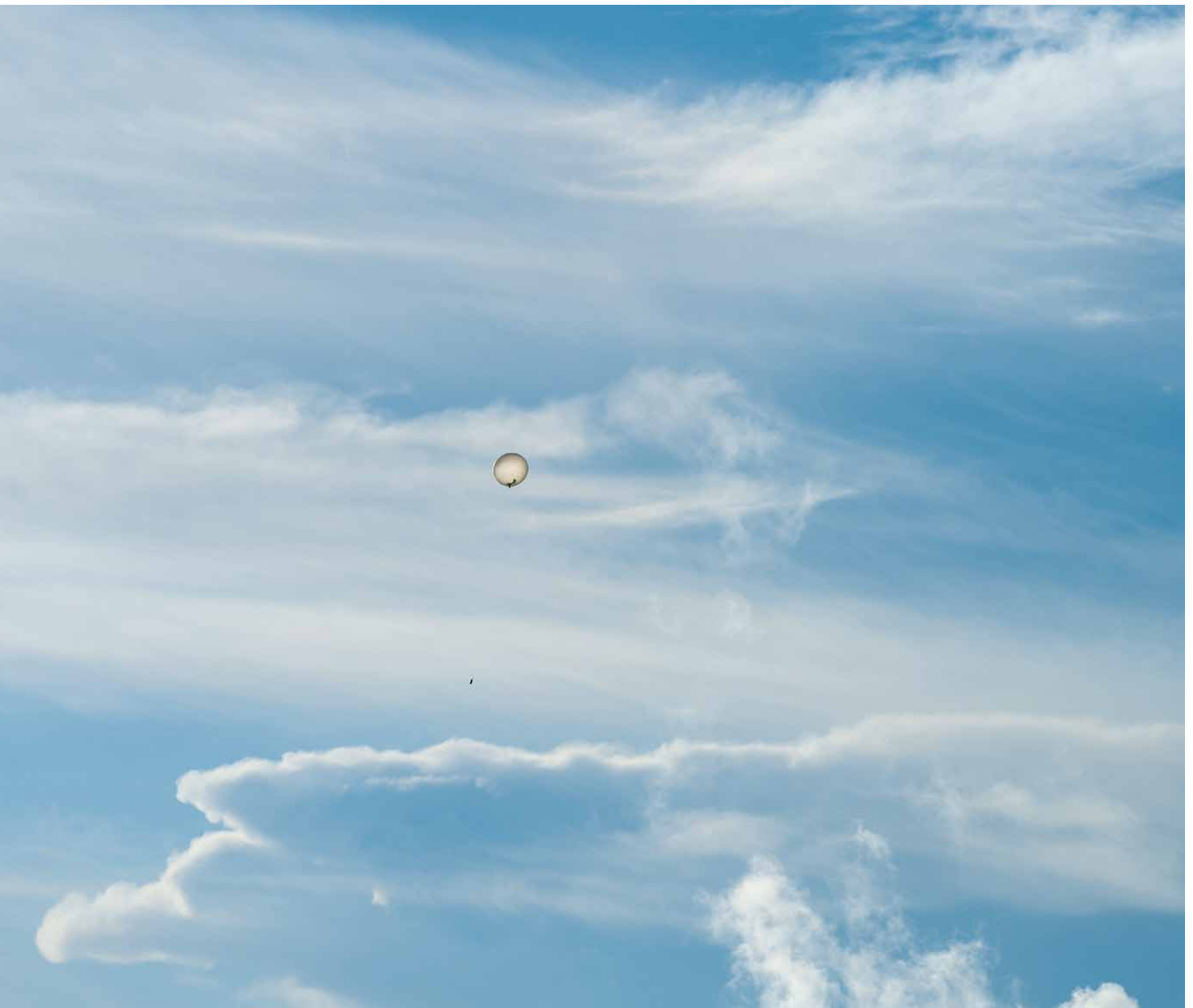
Der Ballon ist nur ein kleines Element der großen Messkampagne Orcestra (Organized Convection and EarthCare Studies over the Tropical Atlantic), die im August und September 2024 zwischen den Bodenstationen auf den Kapverden und Barbados unterwegs war. Unter Leitung des Max-Planck-Instituts für Meteorologie sammelten mehr als 200 Forschende aus fast 50 Institutionen weltweit große Datenmengen. Dabei kamen drei Flugzeuge, darunter das vom Deutschen Zentrum für Luft- und Raumfahrt betriebene Flugzeug Halo, das deutsche Forschungsschiff FS Meteor sowie Europas neuester Satellit EarthCare zum Einsatz.

Die Wolken, in die der Wetterballon aufsteigt, gehören zur inner-tropischen Konvergenzzone, dem typischen Luftströmungssystem in den Tropen. Es entsteht, da die intensive Sonneneinstrahlung am Äquator Luft rasch erwärmt und hoch in die Atmosphäre aufsteigen lässt, wo sie sich abkühlt und für Regen sorgt. Orcestra soll im Detail aufklären, wie sich die Wolken über dem Atlantik organisieren und wie die aktuelle Klimaerwärmung diesen Prozess beeinflusst. Nicht zuletzt weil sich die Wolkenbildung in den Tropen nicht nur auf das lokale Wetter, sondern auch auf das globale Klimageschehen auswirkt.



# ORTE DER FORSCHUNG

---



7

FOTO: TRISTAN VOSTRY

# DIETER SCHWARZ STIFTUNG FÖRDERT MAX-PLANCK-VORHABEN

Die Max-Planck-Gesellschaft und die Dieter Schwarz Stiftung gehen eine wegweisende Verbindung ein: Mit der Vertragsunterzeichnung am 13. März 2025 fördert die Stiftung einen innovativen Ansatz des Max-Planck-Instituts für medizinische Forschung, Heidelberg, für die Translation von grundlegenden For-

schungsergebnissen in Anwendungen. Im Zuge dessen werden zwei neue Abteilungen des Instituts in Heilbronn angesiedelt. Außerdem ermöglicht die Förderung der Dieter Schwarz Stiftung, die Max Planck Schools als gemeinsames Programm deutscher Universitäten und außeruniversitärer Forschungseinrich-

tungen langfristig weiterzuentwickeln. Die Pilotphase endet im September 2025 und wurde im Zuge einer Projektförderung seitens des Bundes unterstützt. Beide Vorhaben stärken nachhaltig innovative Spitzenforschung und internationale Graduiertenförderung.

[www.mpg.de/24328915](http://www.mpg.de/24328915)



ILLUSTRATION: ISTOCKPHOTO

## EINE APP GEGEN STRESS

Anhaltend hoher Stress wird oft von Schlafproblemen, Antriebslosigkeit oder ständigem Grübeln begleitet und kann zu Burnout und sogar zu Depressionen führen. Ein Team des Max-Planck-Instituts für Psychiatrie hat daher die App actiself entwickelt, um Betroffene etwa über Smartwatches zu einem aktiveren Lebensstil zu motivieren und zu einer besseren mentalen Gesundheit zu verhelfen. Die App analysiert zum einen

Daten der Geräte und macht Nutzerinnen und Nutzer aufmerksam, wenn sie durch Stress gefährdet sind. Zum anderen animiert die App in einem sechswöchigen Programm nicht nur zu Bewegung und Sport, sondern auch zu sozialen und ausgleichenden Aktivitäten. Die Technik der App wurde nun von Biometric, einer Ausgründung des Instituts, zur Vermarktung lizenziert.

[www.mpg.de/24181220](http://www.mpg.de/24181220)

## NEUE DOPPELSPITZE FÜR DEN TECHTRANSFER

Max-Planck-Innovation (MI) wird von einem neuen Geschäftsführerduo geleitet. Christoph Hüls folgte zu Beginn des Jahres auf Jörn Erselius, der nach 30 Jahren in den Ruhestand ging, und leitet die Technologietransfer-Tochter der Max-Planck-Gesellschaft nun gemeinsam mit Bram Wijlands. Er übernimmt den Bereich Patente, Lizenzen und Kommerzialisierung. Hüls verantwortete zuletzt beim Pharmaunternehmen Merck in Darmstadt Inno-

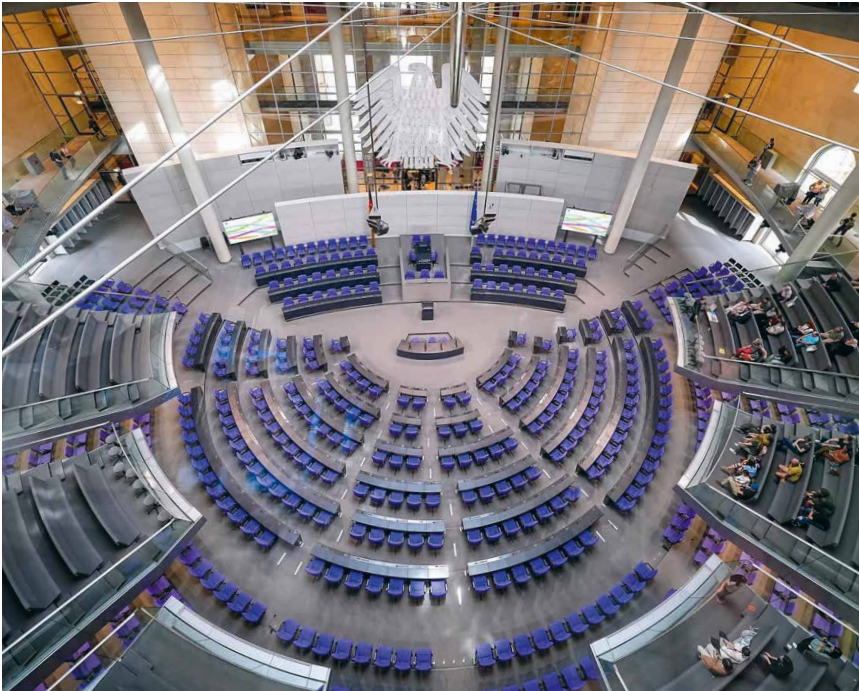
vationsprojekte, darunter zum Beispiel die Herstellung von Tabletten mithilfe von 3D-Druckern. Er war zuvor bereits Geschäftsführer der Max-Planck-Ausgründung Protagen AG und Mitglied des Beirats von MI. Bram Wijlands ist schon seit Oktober 2023 Teil der MI-Geschäftsführung und leitet den Bereich der Ausgründungen. Er war vorher im Bereich Transfer und Unternehmertum der RWTH Aachen tätig.

[www.mpg.de/23908187](http://www.mpg.de/23908187)

Neues Führungsduo: Christoph Hüls (links) wird gemeinsam mit Bram Wijlands die Max-Planck-Innovation GmbH leiten.



FOTO: AXEL GRIESCH / MPG



Neuer Bundestag, neue Regierung:  
Die Max-Planck-Gesellschaft veröffentlicht einen Plan,  
wie Politik die Wissenschaft stärken kann.

## ZEHN PUNKTE FÜR ERFOLG- REICHE WISSENSCHAFT

Die Max-Planck-Gesellschaft richtet sich mit einem Zehn-Punkte-Plan an die künftige Bundesregierung, damit Deutschlands führende Rolle in der Wissenschaft gesichert bleibt. Die neue Regierung soll unter anderem ein Bundesministerium für Forschung, Innovation und Transformation (BMFIT) schaffen, um die Grundlagenforschung und die Innovationskraft gleichermaßen zu stärken und die oft bestehende Lücke zwischen Forschung und Anwendung zu überwinden. Zudem muss sie eine verlässliche Finanzierung und die institutionelle Autonomie und Wissenschaftsfreiheit gewähr-

leisten. So sollen etwa die regulatorischen Auflagen für den Wissenschaftsbetrieb, deren Ausmaß die Leistungsfähigkeit der Forschung inzwischen massiv beeinträchtigt, reduziert und Berichtspflichten auf das notwendige Minimum zurückgeführt werden. Zudem muss die künftige Regierung die Rahmenbedingungen für Forschung schnell an die Herausforderungen des globalen Wettbewerbs anpassen. Das heißt unter anderem, dass die Visavergabe für Fachkräfte vereinfacht, die doppelte Staatsbürgerschaft beibehalten und Familien unterstützt werden.

[www.mpg.de/24266790](http://www.mpg.de/24266790)

## AUSGEZEICHNET ★

---

CHRISTIANE NÜSSLEIN-  
VOLHARD-STIFTUNG

9

Die Deutsche Universitätsstiftung und der Stifterverband ehren die Stiftung der ersten deutschen Nobelpreisträgerin und emeritierten Direktorin des Max-Planck-Instituts für Entwicklungsbiologie als Wissenschaftsstiftung des Jahres. Der Preis ist mit 5000 Euro dotiert. Die Christiane Nüsslein-Volhard-Stiftung unterstützt hervorragende Doktorandinnen und Postdoktorandinnen mit Kindern in den experimentellen Naturwissenschaften und der Medizin, die an einer deutschen Universität oder Forschungseinrichtung forschen, mit monatlich 500 Euro. Über 20 Jahre hat sie so dazu beigetragen, rund 300 junge Mütter von häuslichen Aufgaben und Kinderbetreuung zu entlasten.

Papageien imitieren sich unwillkürlich gegenseitig: Der Blaukehlara im Hintergrund hebt die Flügel, und das Tier im Vordergrund macht es ihm nach.



FOTO: ADRIAN AZCARATE

## NACHMACHER

Gähnen ist ansteckend! Auch andere Bewegungen unseres Gegenübers imitieren wir Menschen unbewusst. Dies stärkt soziale Bindungen und fördert das Erlernen kultureller Konventionen einer Gemeinschaft. Forscherinnen haben ein solches Verhalten nun bei Papageien beobachtet. Sie haben Blaukehlaras – eine vom Aussterben bedrohte Papageienart, die nur in Bolivien vorkommt – in zwei Gruppen eingeteilt und jeweils paarweise untersucht. Dabei erhielt in einer Gruppe einer der beiden Vögel eine Belohnung, wenn er eine Bewegung des anderen, nämlich ein Bein zu heben oder einen Flügel auszubreiten, nachahmte.

In der anderen Gruppe erhielt einer der beiden Vögel eine Belohnung, wenn er die jeweils andere Bewegung ausführte. Die Tests ergaben, dass die Vögel, die nicht imitieren durften, dies trotzdem immer wieder taten und mehr Zeit für die von ihnen erwartete Bewegung brauchten. Es fiel den Vögeln also offenbar schwer, den Drang zur Nachahmung zu unterdrücken. Die Wissenschaftlerinnen vermuten, dass das unwillkürliche Nachahmen den Zusammenhalt und die

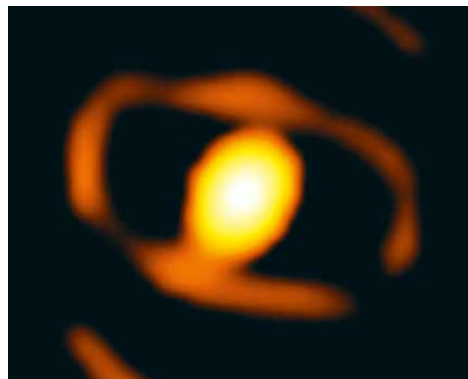
Bindung der Aras untereinander fördert. Ein Tier könnte sich besser in eine neue Gruppe integrieren, wenn es die übrigen Mitglieder der Gemeinschaft imitiert. Beim Menschen wird dieses Verhalten durch besondere Nervenzellen im Gehirn gesteuert, sogenannte Spiegelneuronen. Diese sind sowohl beim Beobachten als auch während der Ausführung der Handlung aktiv. Möglicherweise könnten also auch Papageien solche Nervenzellen besitzen. [www.mpg.de/23839640](http://www.mpg.de/23839640)

10

## DAS ERSTE STERNBILD AUSSERHALB DER MILCHSTRASSE

Alleine unsere Milchstraße besteht aus Hunderten Milliarden Sternen. Auch für die besten Teleskope erscheinen die meisten von diesen nur als helle Punkte. Nur ein paar Dutzend Sterne konnten bisher aufgelöst und fotografiert werden – entweder weil diese nah genug, groß genug oder beides sind. Dabei verrät ein Bild viel über die Physik anderer Sterne. Nun ist Astronominen und Astronomen, unter anderem des Max-Planck-Instituts für Radioastronomie, mit dem Very Large Telescope Interferometer der Europäischen Südsternwarte erstmals ein Foto eines Sterns jenseits unserer Heimatgalaxie gelungen. Der Koloss mit der Bezeichnung WOH G64 zählt zur Klasse der Roten Überriesen und umkreist die Milchstraße in einer Begleitgalaxie, der Großen Magellanschen Wolke. Er hat sich bereits auf die beinahe 2000-fache Größe der Sonne aufgebläht und befindet sich kurz vor einer Supernova, das heißt er könnte schon in den kommenden 100 bis 1000 Jahren explodieren. Auch der Staub, den die äußere Sternhülle in dieser Lebensphase abstößt, ist im Bild enthal-

ten. Es handelt sich um einen der größten Sterne, die je fotografiert wurden. Bei der enormen Entfernung von 165 000 Lichtjahren erscheint die Scheibe des Sterns aber nur so klein am Himmel wie eine Zwei-Euro-Münze in New York, von Berlin aus gesehen. <https://www.mpg.de/23936528>



Der Rote Riesenstern WOH G64 in der Großen Magellanschen Wolke. Bei dem ovalen Ring handelt es sich um einen staubigen Kokon, der den Stern umhüllt und von abgestoßenem Material herrühren könnte. Er erscheint aus aufnahmetechnischen Gründen ringförmig.

BILD: ESO/K. OHNKA ET AL.

## LEGASTHENIE IM KOPF

Legasthenie ist eine häufige Lernschwäche, bei der die Gene eine Rolle spielen. Forschende des Max-Planck-Instituts für Psycholinguistik in Nijmegen untersuchten nun den Zusammenhang zwischen Genen, die das Risiko für Legasthenie erhöhen, und strukturellen Unterschieden im Gehirn. Die Analyse zeigte, dass eine höhere genetische Veranlagung für Legasthenie mit einem geringeren Volumen in Gehirnregionen

verbunden ist, die für motorische Koordination und Sprachverarbeitung wichtig sind. Bereiche des Hirns, die Seheize verarbeiten, sind dagegen größer. Zudem beobachteten die Forschenden Unterschiede in der sogenannten Capsula interna, einem Faserbündel tief im Gehirn, dessen Dichte nicht nur mit Legasthenie, sondern auch mit dem Bildungsniveau, logischem Denken und ADHS assoziiert wird. Die Ergebnisse

deuten darauf hin, dass einige dieser Gehirnveränderungen bereits in frühen Entwicklungsphasen, wie im Fötus oder in der Kindheit, entstehen und über das Leben hinweg bestehen bleiben. Andere könnten jedoch durch jahrzehntelanges Verhalten hervorgerufen werden – beispielsweise kann es langfristig das visuelle System des Gehirns beeinflussen, wenn man nicht liest.

[www.mpg.de/25012de](http://www.mpg.de/25012de)



FOTO: ANTOINE VALET / TAI CHIMPANZEE PROJECT

Schimpansen im Tã-Nationalpark in der Elfenbeinküste. Die verschiedenen Gruppen im Park verständigen sich untereinander mit Gesten.

## FERSENKICKER, KNÖCHELKLOPFER UND BLATTZERREISSER

„Mir kennat alles außer Hochdeutsch.“ Wie den Schwaben scheint es auch manchen Tieren zu gehen: Singvögel, aber auch Wale können „Dialekte“ entwickeln, also regionale Variationen in der Kommunikation. Forschende haben nun bei Schimpansen in der Elfenbeinküste solche Dialekte beobachtet – allerdings nicht unterschiedliche Laute, sondern verschiedene Gesten, mit denen die Tiere untereinander kommunizieren. Männliche Schimpansen fordern zum Beispiel Weibchen mit „Fersenkick“, „Knöchelklopfen“, „Blattzerreißen“ und „Astschütteln“ zur Paarung auf. Die Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler haben herausgefun-

den, dass die Schimpansen aus verschiedenen Gruppen die einzelnen Gesten unterschiedlich häufig benutzen. Innerhalb einer Gemeinschaft bleiben sie dagegen über viele Jahre hinweg konstant. Dies ist ein Beleg dafür, dass es auch bei Schimpansen Dialekte gibt, die von Generation zu Generation weitergegeben werden. Allerdings bedroht der Mensch mit den Menschenaffen auch deren Dialekte: In einer der untersuchten Gruppen töteten Wilderer 2004 das letzte ausgewachsene Männchen. Seitdem ist das „Knöchelklopfen“ aus dem Gestenrepertoire der Gemeinschaft verschwunden.

[www.mpg.de/24113793/0204](http://www.mpg.de/24113793/0204)

## DAS GLAUBST DU NICHT!

Wer leicht falsche Nachrichten glaubt und wer nicht, entspricht nicht immer den Erwartungen. Das zeigt eine Metaanalyse des Max-Planck-Instituts für Bildungsforschung. Die Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler analysierten Studien, in denen insgesamt 11 561 Teilnehmende aus den USA in 31 Experimenten alles in allem über 256 000 Entscheidungen trafen, ob eine Nachricht wahr oder falsch ist. Demnach schützt Bildung nicht zwingend davor, auf Fehlinformationen hereinzufallen, ältere Erwachsene erkennen falsche Nachrichten oft besser als jüngere, und politische Identität beeinflusst die Wahrnehmung stark: Republikaner lassen sich häufiger von Fehlinformationen täuschen als Demokraten. Besonders problematisch ist der Effekt der Vertrautheit – bereits gesehene Schlagzeilen werden eher als wahr eingestuft. Das belegt die Gefahr der wiederholten Exposition gegenüber Fehlinformationen, insbesondere in sozialen Medien. Die Studie, veröffentlicht im Fachmagazin *PNAS*, unterstreicht die Notwendigkeit, Medienkompetenz zu fördern, um Fehlinformationen zu bekämpfen.

[www.mpg.de/24130191](http://www.mpg.de/24130191)

Durch ausgetrockneten Boden versickert Regenwasser so schnell, dass es kaum gefiltert wird.



## GEFAHR FÜRS TRINKWASSER

Anhaltende Trockenheit hat auch in Deutschland bereits immer wieder den Grundwasserspiegel abgesenkt. Dürren und Starkregen beeinträchtigen aber auch die Qualität des Trinkwasserreservoirs. Vor allem wenn extremer Niederschlag auf stark ausgetrockneten Boden fällt, rauscht das Wasser schnell in die Tiefe. Den Mikroorganismen im Untergrund bleibt dann nicht genügend Zeit, ihre natürliche Filterfunktion auszuüben. Das hat ein Team unter Leitung des Max-Planck-Instituts für Biogeochemie herausgefunden, indem es über acht Jahre hinweg an verschiedenen Standorten mit einer besonders hochaufgelösten Form der Massenspektrometrie die organischen Substanzen im Grundwasser und in oberflächennahem Wasser erfasste. Demnach hat sich die Gesamtmenge der organischen Stoffe im Grundwasser zwar nicht verändert, ihre Zusammensetzung hat sich aber immer mehr dem molekularen Profil im oberflächennahen Wasser angeglichen. Die Forschenden untersuchten mithilfe von Genanalysen auch, welche Mikroorganismen in den Grundwasserproben vorkamen. Da die Einzeller sich jeweils von bestimmten Substanzen ernähren, ergaben sich so Hinweise auf einzelne Verbindungen und deren Abbauprodukte, darunter Dioxine, Aflatoxin und verschiedene Antibiotika, die allerdings auch von Pilzen im Boden produziert worden sein können. Mit dem schlecht gefilterten Zufluss können zudem Schwermetalle ins Grundwasser gelangen. Die Studie kann als Frühwarnung verstanden werden, dass sich die Grundwasserqualität verschlechtern wird, da Wetterextreme mit dem Klimawandel zunehmen.

[www.mpg.de/24051456](https://www.mpg.de/24051456)

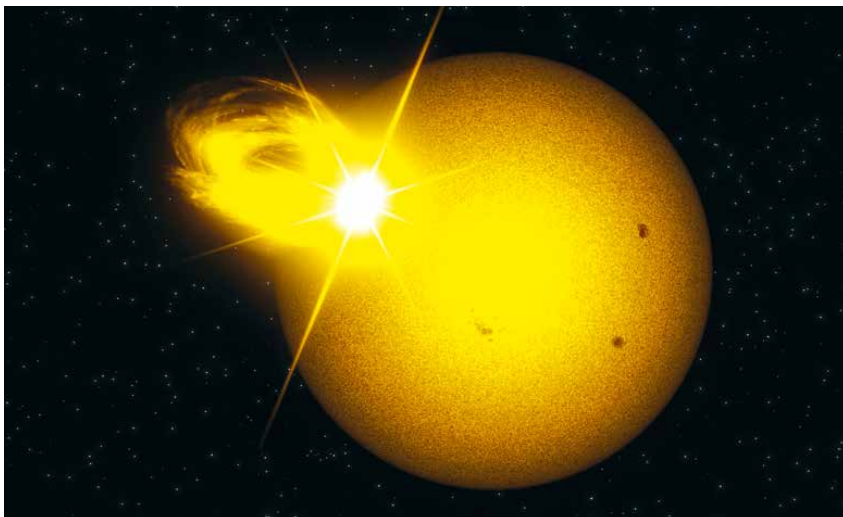
FOTO: ADOBESTOCK / RALF LEHMANN

## DIE SONNE KANN NOCH MEHR

Die Sonne ist etwa alle elf Jahre besonders aktiv und feuert in Hochphasen besonders heftige und viele Sonnenstürme in Richtung Erde. Der bisher stärkste aufgezeichnete Teilchensturm traf das Erdmagnetfeld im Jahr 1859 so heftig, dass sogar Telegrafennetze zusammenbrachen. Heutige Elektronik ist um einiges empfindlicher. Auch im Jahr 2024 war die Erde Zielscheibe von Sonnenpartikeln, schrammte aber an einer größeren Katastrophe vorbei. In Erinnerung blieben Polarlichter, die sogar am Himmel in Süddeutschland in prächtigen Farben erschienen. Aber die Sonne sollte zu mehr imstande sein. Forschende des Max-Planck-Instituts für Sonnensystemforschung haben mit dem Weltraumteleskop Kepler das Licht von über 50 000 sonnenähnlichen Sternen aufgezeichnet und dabei Tausende Superflares entdeckt – Strahlungsausbrüche,

Hunderte Mal stärker als jener Sturm aus dem Jahr 1859. Die Beobachtungen legen nahe, zumindest statistisch, dass auch die Sonne alle hundert Jahre zu einem Superflare imstande sein sollte. Ob dies auch tatsächlich passiert ist, verraten geologische Archive wie etwa Baumringe oder das Gletschereis. Ist die Sonne besonders aktiv und schleudert sie hochenergetische Teilchen in Richtung Erde, fördern diese die Bildung des radioaktiven Kohlenstoffisotops C-14. Da C-14 über Tausende von Jahren sehr langsam zerfällt, erlauben Messungen dieses Isotops einen Blick in die Vergangenheit. Und die Forschenden fanden in der Tat Belege für fünf bis acht extreme Ausbrüche der Sonne in den vergangenen 12 000 Jahren. Den heftigsten Sonnensturm in dieser Zeit erfuhr die Erde wohl im Jahr 775.

<https://www.mpg.de/23853124>



Künstlerische Illustration eines Superflares auf einem sonnenähnlichen Stern.

BILD: MPS / ALEXEY CHIZHIK

# DIE SEUCHE IM GEPÄCK

Im Frühjahr 1495 brachte eine bis dahin unbekannte Seuche den Italienfeldzug Karls VIII. von Frankreich zum Stehen. Viele seiner Soldaten starben, andere erlitten schwere körperliche und geistige Schäden. Die Epidemie gilt heute als erster historischer Nachweis der Syphilis. Wo und wann die Krankheit ihren Ursprung hatte, war bis vor Kurzem noch unbekannt. Der Ausbruch kurz nach der Rückkehr von Christoph Kolumbus und seiner Mannschaft von ihren ersten Entdeckungsreisen nach Amerika ließ vermuten, dass die Seefahrer die Krankheit von dort nach Europa mitgebracht hatten. Die Syphilis wäre somit eine der wenigen Krankheiten, die nicht von Europa in die Neue Welt eingeführt wurden, sondern den umgekehrten Weg nahmen. Forschende haben das Erbgut von Syphilis-Erregern aus den sterblichen Überresten von Menschen entschlüsselt, die vor

der Ankunft der Spanier im heutigen Mexiko, Chile, Peru und Argentinien lebten. Ihre Analysen belegen, dass die Syphilis und ihre Verwandten, die Frambösie und Bejel, ihren Ursprung in Amerika haben. Sie sind also tatsächlich von den europäischen Eroberern nach Europa eingeschleppt worden. Der explosionsartige Anstieg der Syphilis- und Frambösie-Fälle in Europa um 1500 war der Beginn einer Epidemie, die im 16. Jahrhundert in

Europa wütete und die sich in den folgenden Jahrhunderten durch die europäische Expansion nach Amerika, Asien und Afrika weltweit ausbreitete.

[www.mpg.de/23905318/1216](http://www.mpg.de/23905318/1216)



Hüftknochen, in denen Forschende eines der ältesten bislang bekannten Genome des Syphilis-Erregers nachweisen konnten.

# GLEICHSTELLUNG KANN GEBURTENRATE STEIGERN

In hoch entwickelten Ländern sinken die Geburtenraten. Lange galt das als unumkehrbar, doch Forschende wissen schon seit einer Weile, dass die Geburtenraten mit steigendem Entwicklungsniveau – begünstigt durch Gleichstellung der Geschlechter und positive wirtschaftliche Perspektiven – wieder wachsen können. Eine Studie des Max-Planck-Instituts für demografische Forschung belegt diesen Zusammenhang anhand von Daten aus den USA von 1969 bis 2020. Ihre Ergebnisse zeigen bis 2010 einen Anstieg der Geburtenraten in Regionen, in denen eine fortschrittliche Politik die ge-

sellschaftliche Entwicklung, wirtschaftliche Stabilität und die Gleichstellung der Geschlechter förderte. Dagegen kamen in Ungarn und Südkorea, wo traditionelle Familienstrukturen gefördert wurden, nicht mehr Babys zur Welt. Allerdings sinkt seit 2010 die Fertilität in allen US-Bundesstaaten – unabhängig von ihrem jeweiligen Entwicklungsstand. Diese Trendwende fällt mit der Wirtschaftskrise 2007/08 zusammen und deutet auf einen strukturellen Wandel hin, der zu einem zehnjährigen Rückgang der Geburten führte.

[www.mpg.de/23976736](http://www.mpg.de/23976736)

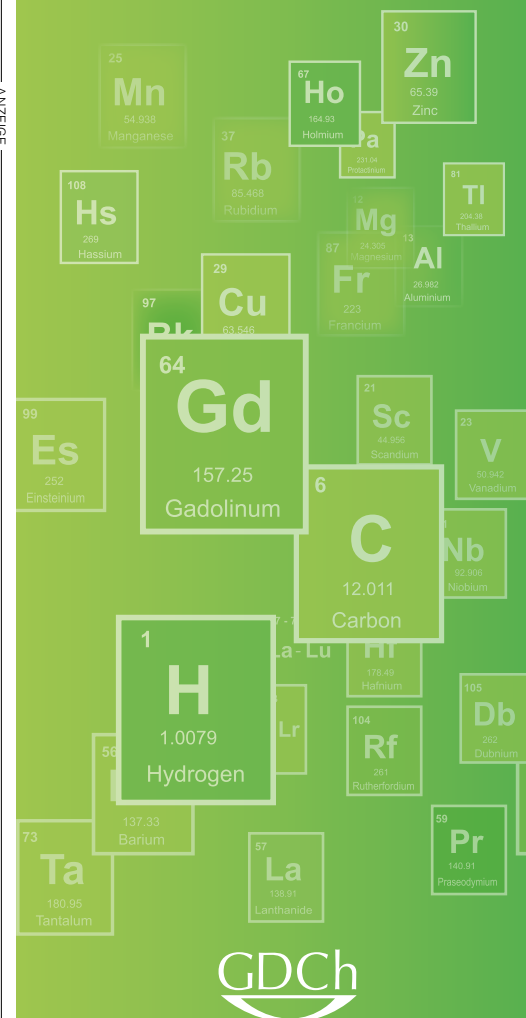
**1 2 3 4 5 6 7 8**  
D A S  
K A R R I E R E  
1 2 3 4 5 6  
P O R T A L

## 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 GDCh-Mentoringprogramm für chemische Nachwuchskräfte
- ➔ Publikationen rund um die Karriere
- ➔ Coachings und Workshops
- ➔ Jobbörsen und Vorträge
- ➔ Einkommensumfrage

ANZEIGE



**GDCh**

GESELLSCHAFT DEUTSCHER CHEMIKER

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

# VIBRATIONS- ALARM WAR GESTERN

Wer andere im Zugabteil nicht mit einem schrillen Klingelton belästigen will, nutzt den Vibrationsalarm. Diesen gibt es in allen möglichen Varianten, ob lang, kurz, sanft, heftig oder als Intervallsummen. Oft empfinden Nutzerinnen und Nutzer aber all diese Varianten als unangenehm. Forschende des Max-Planck-Instituts für Intelligente Systeme haben nun ein elektrohydraulisches Gerät entwickelt, das wie eine Uhr am Arm getragen werden kann und einige alternative haptische Empfindungen hervorruft. Im Kern besteht es aus einem Modul, das sich umso mehr ausdehnt, je mehr Spannung angelegt wird. So lassen sich auf der Haut Druck, langsame und beruhigende Berührungen sowie Vibrationen mit vielen unterschiedlichen Frequenzen erzeugen.

[www.mpg.de/25011de](http://www.mpg.de/25011de)



FOTO: WOLFRAM SCHEIBLE

Das Gerät, das verschiedene taktile Empfindungen hervorruft und am Arm getragen wird,

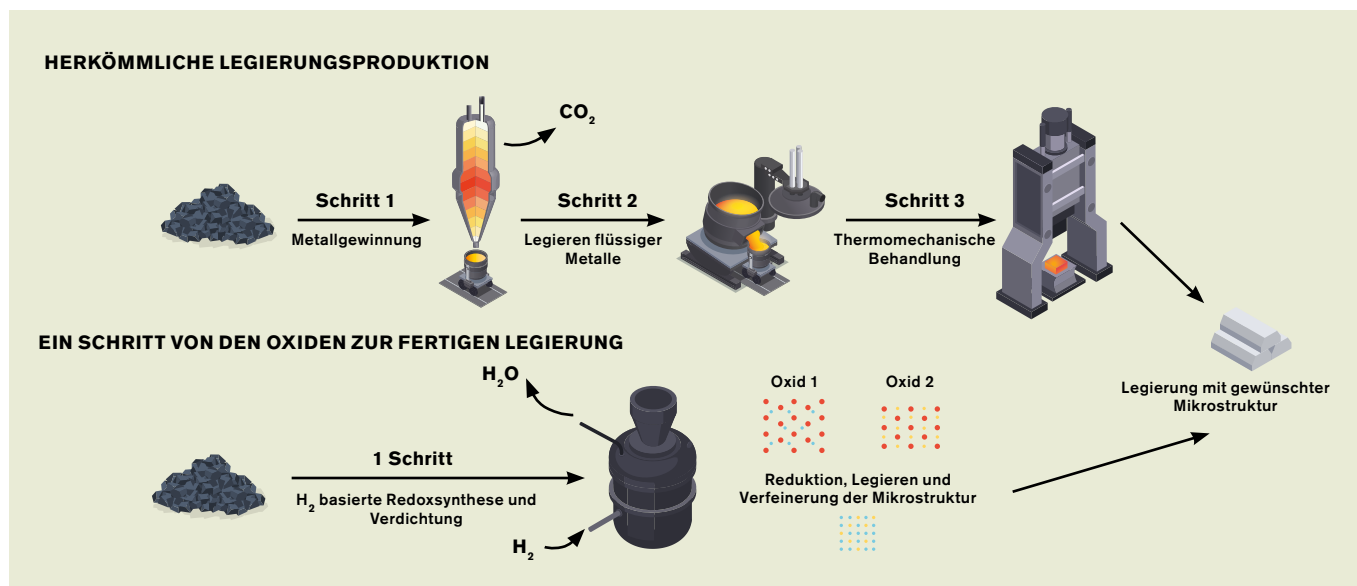
## METALLE AUS DEM EINTOPF

Metalle und Legierungen könnten sich künftig einfach und klimaneutral produzieren lassen. Ein Team des Max-Planck-Instituts für Nachhaltige Materialien hat einen Weg gefunden, aus Metallerzen in einem Reaktor und in einem einzigen Prozessschritt Legierungen zu erzeugen, die sich direkt weiterverarbeiten lassen. Das demonstrierten die Forscher an einer Invarlegierung aus Eisen und Nickel, die sich bei Erwärmung fast nicht ausdehnt und daher etwa zum Transport von verflüssigten Gasen verwendet wird. Bei der Produktion dieses Werkstoffs entstehen allerdings große Mengen an Treibhausgasen, weil vor allem die Nickelgewinnung einen großen  $\text{CO}_2$ -Fußabdruck hat. Nun mischte das Max-Planck-Team Pulver der entsprechenden Metalloxide im gewünschten Verhält-

nis, presste daraus Pellets und reduzierte das Oxidgemisch dann mit Wasserstoff, so dass die Legierung gleich in einer Form entstand, in der sie sich weiterverarbeiten lässt. Bislang wandelt die Metallindustrie Erze zunächst in die reinen Metalle um, mischt diese zu Legierungen, die für die Weiterverarbeitung noch aufbereitet werden müssen. Jeder dieser drei Schritte erfordert viel Energie, unter anderem weil das Material immer wieder erhitzt werden muss. Im Vergleich zur konventionellen Metallurgie spart das Eintopfverfahren 40 Prozent Energie. Da die Forschenden als Energieträger und Reduktionsmittel zudem Wasserstoff statt Kohlenstoff einsetzten, entsteht bei dem Verfahren so gut wie kein  $\text{CO}_2$ .

[www.mpg.de/23849692](http://www.mpg.de/23849692)

Das Konzept der Legierungsproduktion in einem statt in drei Schritten.



GRAFIK: GCO NACH SHAOLOU WEI, MAX-PLANCK-INSTITUT FÜR NACHHALTIGE MATERIALIEN GMBH

## MEHR TOTGEBURTEN IN DEUTSCHLAND

Die Rate der Totgeburten, ein Indikator für die Qualität eines Gesundheitssystems, ist in den vergangenen Jahrzehnten europaweit gesunken oder stabil geblieben – mit zwei Ausnahmen: Deutschland und Belgien. In beiden Ländern ist die Zahl der Totgeburten seit 2010 deutlich gestiegen. Wissenschaftle-

rinnen und Wissenschaftler des Max-Planck-Instituts für demografische Forschung analysierten mögliche Gründe für diesen Trend und berücksichtigten dabei Totgeburten ab der 24. Schwangerschaftswoche. Das Team untersuchte, ob das steigende Alter der Mütter und Veränderungen bei Mehrlingsge-

burten die Entwicklungen und Unterschiede in Europa erklären könnten – jedoch ohne eindeutiges Ergebnis. In künftigen Studien werden die Forschenden aber weiter versuchen, die Gründe für die gegenläufigen Entwicklungen in Europa herauszufinden.

[www.mpg.de/24101723](http://www.mpg.de/24101723)



BILD: TOM BJÖRKLUND FÜR MPI FÜR EVOLUTIONÄRE ANTHROPOLOGIE

Vor 45 000 Jahren zogen Menschen aus dem heutigen Thüringen und Tschechien offenbar gemeinsam durch die offenen Steppenlandschaften Europas.

## GROSSFAMILIE IN DER EISZEIT

Vor rund 45 000 Jahren attackierte eine Hyäne eine Frau und schleppte sie in eine Höhle. Das dramatische Ereignis konnten Archäologen rekonstruieren, die Mitte des 20. Jahrhunderts einen Teil des Skeletts in einer Höhle auf dem Zlatý kůň im heutigen Tschechien entdeckten. Nahezu zeitgleich mit der Frau, aber 230 Kilometer entfernt, lebte im heutigen Thüringen ebenfalls eine Gruppe von Menschen. Forschenden des Max-Planck-Instituts für evolutionäre Anthropologie in Leipzig zufolge waren zumindest zwei von ihnen mit der Frau aus der Höhle in Tschechien verwandt. Die Wissenschaftler haben das Erbgut der Frühhmenschen analysiert

und so herausgefunden, dass diese Verwandte fünften oder sechsten Grades waren. Die Menschen aus den Höhlen in Thüringen und Tschechien bildeten also zumindest genetisch eine „Großfamilie“. Ihre Gene zeigen auch, dass sie vermutlich dunkle Haut- und Haarfarbe sowie braune Augen besaßen – ein Erbe ihres noch nicht lang zurückliegenden Ursprungs in Afrika. Die Forschenden schätzen, dass die Population höchstens einige Hundert Individuen umfasste, die über mehrere Generationen ein größeres Gebiet bewohnten. In einer weiteren Studie fanden Forschende heraus, dass sich die Vorfahren dieser Menschen 80 Generationen früher mit dem Neander-

taler vermischt hatten. Eine andere Abstammungslinie, von denen Vertreter vor 44 000 und 40 000 Jahren in zwei Höhlen im heutigen Bulgarien lebten, hatte sich noch ein weiteres Mal mit Neandertalern vermischt. Die in Thüringen und Tschechien gefundenen Frühhmenschen gehören zu der frühesten bekannten Abspaltung von der Population moderner Menschen, die aus Afrika einwanderte und sich später in Eurasien verbreitete. Ihre Linie ist jedoch erloschen, denn im Erbgut heute lebender Menschen finden sich von diesen frühen Europäern keine Spuren mehr.

[www.mpg.de/23822754](http://www.mpg.de/23822754)

---

# GLOBALE GESUNDHEITSRISIKEN MEISTERN

16

Ob H5N1 in den USA oder eine Ebola-Variante in Uganda: Zoonosen bedrohen die Gesundheit der Menschen weltweit. Doch selbst fünf Jahre nach Ausbruch der Corona-Pandemie hat die Weltgemeinschaft noch keine verbindlichen Regeln für ein internationales Pandemie-Management geschaffen. Höchste Zeit, findet Pedro A. Villarreal, Experte für globales Gesundheitsrecht.

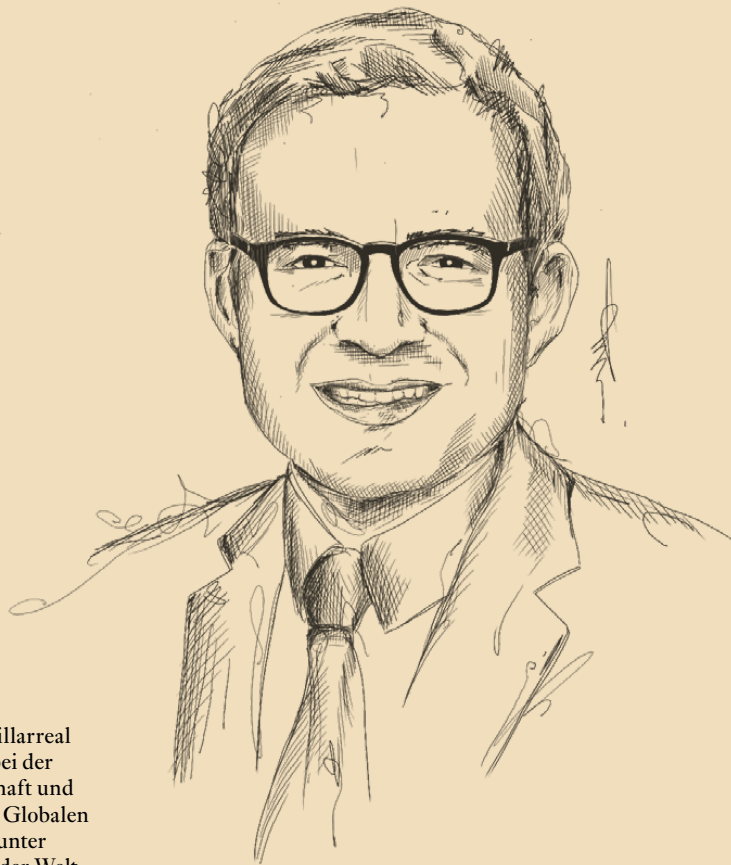
Die Nachrichten über den Ausbruch und die Ausbreitung von Infektionskrankheiten reißen nicht ab: Das Vogelgrippe-Virus H5N1 ist in den USA von Vögeln auf Rinder überggesprungen und grassiert dort nun schon seit Monaten auf Rinderfarmen. Vereinzelt haben sich bereits Menschen mit dem Erreger infiziert. In Uganda ist eine Ebola-ähnliche Viruserkrankung mit einer Sterblichkeitsrate von bis zu 70 Prozent ausgebrochen. Einen Impfstoff gibt es bislang gegen keine der beiden Erkrankungen. Unterdessen besteht weiter die Gefahr, dass irgendwo auf der Erde neue Erreger von Tieren auf den Menschen überspringen und eine neue Pandemie auslösen, denn der Mensch dringt immer weiter in bislang unberührte Gebiete vor und kommt dabei in engen Kontakt mit Wildtieren.

Dass die internationale Staatengemeinschaft auch fünf Jahre nach der Covid-19-Pandemie darauf kaum besser vorbereitet ist, gibt Anlass zur Sorge. Die globale Gesundheitspolitik ist nach wie vor mehr von Konflikten als von Zusammenarbeit geprägt. Auch während der Covid-19-Pandemie standen nationale Eigeninteressen im Vordergrund. Dabei übersteigt →

# ZUR SACHE

---

PEDRO A.  
VILLARREAL



Pedro Alejandro Villarreal Lizárraga forscht bei der Stiftung Wissenschaft und Politik (SWP) zum Globalen Gesundheitsrecht unter anderem zur Rolle der Weltgesundheitsorganisation in der Steuerung von Pandemievor-sorge und -bekämpfung. Am Max-Planck-Institut für ausländisches öffentliches Recht und Völkerrecht in Heidelberg erforschte Villarreal auch die Beziehung zwischen menschlicher Gesundheit und internationalem Wirtschaftsrecht.

ILLUSTRATION: SOPHIE KETTERER FÜR MPG

## DIE ZUKUNFT DES GEPLANTEN PANDEMIE- ABKOMMENS IST ÄUSSERST UNGEWISS

ein effektiver Schutz vor Infektionskrankheiten die Kapazitäten eines einzelnen Staates. Gerade die Erfahrungen aus der Covid-19-Pandemie zeigen, dass internationale Zusammenarbeit bei Prävention und Intervention von entscheidender Bedeutung ist.

Nachdem das Virus in der chinesischen Stadt Wuhan identifiziert worden war, veröffentlichten die chinesischen Behörden am 31. Dezember 2019 eine Warnung. Die Weltgesundheitsorganisation WHO informierte daraufhin ihre Mitgliedstaaten über die Situation. Am 30. Januar 2020 erklärte der Generaldirektor der WHO die grenzüberschreitende Ausbreitung von Covid-19 zu einer gesundheitlichen Notlage von internationaler Tragweite – ein Begriff aus den Internationalen Gesundheitsvorschriften der WHO von 2005. Darin fehlt aber bis heute, was ein effektives internationales Gesundheitsmanagement braucht: Zusammenarbeit und Datenaustausch.

Die Gesundheitsvorschriften der WHO gelten für ihre 194 Mitgliedstaaten, für Liechtenstein und den Vatikan. Sie bieten jedoch nur wenige Lösungen im Pandemiefall: Die Staaten müssen der WHO zwar Informationen über „krankheitsbezogene Ereignisse“ zur Verfügung stellen, der Austausch von biologischem Material, wie etwa Proben von Krankheitserregern, ist dagegen nach wie vor nicht vorgeschrieben. Auch müssen Staaten keine Daten darüber bereitstellen, wo neue Medikamente, Impfstoffe und Ähnliches erforscht und produziert werden. Zudem sind sie rechtlich nicht verpflichtet, sich im Fall einer Pandemie gegenseitig mit medizinischen Gütern zu helfen. So wurden zwar im Falle von Covid-19 in Rekordzeit mehrere Impfstoffe gegen das Virus entwickelt, insbesondere ärmere Länder erhielten aber nicht ausreichend und zu spät Zugang dazu. Die bestehenden Regelungen reichten also nicht aus, um die Bedrohung dieses Ausmaßes zu bewältigen.

Während des Höhepunkts von Covid-19 im Jahr 2021 schlug der damalige Präsident des Europäischen Rates Charles Michel deshalb ein neues, rechtsverbindliches Abkommen über die Prävention, Vorsorge und Reaktion bei Pandemien vor – ein „Pandemieabkommen“. Es sollte von der WHO ausgehandelt werden und sicherstellen, dass sich die eklatanten politischen Versäumnisse während der Covid-19-Pandemie nicht wiederholen.

Inzwischen ist die Zukunft des geplanten Pandemieabkommens äußerst ungewiss: Im Mai sollen die Verhandlungen abgeschlossen sein, und noch stehen die Aussichten schlecht, dass sich die Staatengemeinschaft auf ein wirksames Abkommen einigen wird. Die Erfahrungen mit Covid-19

scheinen langsam in Vergessenheit zu geraten, und die Bereitschaft zur zwischenstaatlichen Zusammenarbeit scheint nachgelassen zu haben, nicht zuletzt aufgrund der zunehmenden geopolitischen Spannungen.

Worüber verhandelt die Weltgemeinschaft nun bereits seit mehr als dreieinhalb Jahren? Drei Hauptziele haben sich herauskristallisiert: Erstens ein schneller Zugang zu biologischen Proben, um die Entwicklung von Impfstoffen und Behandlungsmethoden zu erleichtern. Zweitens die Gewährleistung, dass alle Staaten unabhängig von ihrer Zahlungsfähigkeit Zugang dazu erhalten. Drittens die Einbeziehung eines One-Health-Ansatzes – der die Verflechtung von menschlicher, tierischer und umweltbezogener Gesundheit anerkennt – sowie spezifischer Maßnahmen zum Schutz dieser drei Bereiche, um die Pandemieprävention zu verbessern. Bislang konnte jedoch zu keinem der Punkte ein Konsens erzielt werden.

Auch ist noch rechtlich unklar, wie genau auf eine Pandemie zu reagieren sein wird – ganz zu schweigen davon, ob Verstöße gegen dieses Abkommen geahndet werden. Diese Fragen sollen im sogenannten Pathogen Access and Benefit-Sharing System (PABS-System) geregelt werden. Die Vertragsstaaten wären darin verpflichtet, Proben und Ergebnisse von Erbgutanalysen der Erreger unverzüglich dem Labornetzwerk der WHO zur Verfügung zu stellen. Im Gegenzug würden die Staaten die Garantie erhalten, dass alle Produkte, die mithilfe der daraus entstandenen Erkenntnisse entwickelt werden, „gerecht“ geteilt werden.

Eine solche rechtlich bindende Verpflichtung wäre nicht neu: Das Nagoya-Protokoll zur biologischen Vielfalt erkennt beispielsweise an, dass Organismen mitsamt ihren Genen und Stoffwechselprodukten natürliche Ressourcen eines Landes sein können (siehe *MaxPlanckForschung* 4/24). Darüber hinaus schreibt es vor, dass Regierungen, die biologische Proben mit privaten Einrichtungen oder Regierungen teilen, einen Ausgleich erhalten. Staaten können miteinander aushandeln, ob diese monetärer oder nicht-monetärer Natur sein sollen. Das größte Defizit im Nagoya-Protokoll ist jedoch, dass Länder nur in dem Maße in einer Pandemie Unterstützung erhalten, in dem sie bereit sind, Proben mit anderen zu teilen. Das Problem dabei ist, dass Länder, die in einer Pandemie keine Proben austauschen, etwa weil der Erreger sie erst später erreicht, ins Hintertreffen geraten. Dies war ein Grund für Beschwerden während der Covid-19-Krise. Außerdem erfolgt der Vorteilsausgleich ausschließlich bilateral, das heißt er gilt nur zwischen den an der Transaktion beteiligten Parteien.

BEDÜRFTIGE  
MITGLIEDSTAATEN  
SOLLEN DIE  
NOTWENDIGEN  
MEDIZIN-  
PRODUKTE  
ERHALTEN

→

## DIE INTERNATIONALE GEMEINSCHAFT IST DURCH MANGELHAFTE ZUSAMMENARBEIT VON INFORMATIONEN ABGESCHNITTEN

Das Pandemieabkommen soll die Defizite des Nagoya-Protokolls überwinden und dadurch sicherstellen, dass bedürftige Mitgliedstaaten die zum Schutz vor einer Pandemie notwendigen Medizinprodukte auf einer „gerechten“ Basis erhalten und nicht nur diejenigen, die Probenmaterial bereitstellen. Was „gerecht“ konkret bedeutet, ist jedoch noch unklar. Bislang konnten sich die Staaten auch noch nicht darüber verständigen, wie genau ein Staat Zugang zu Proben und Medizinprodukten erhalten soll und in welcher Menge diese zur Verfügung gestellt werden müssen. In seiner ersten Formulierung aus dem Jahr 2022 sieht das PABS-System die Verpflichtung vor, 20 Prozent der Produktion pandemiebezogener Medizinprodukte an die WHO zu liefern. Dieser Prozentsatz und die Bedingungen für die Lieferung können sich vor Abschluss noch ändern.

Im Zuge der Verhandlungen haben sich mehrere Länder zurückhaltend oder sogar ablehnend zu dem geplanten Pandemieabkommen geäußert. Die Regierungen der Slowakei und Argentiniens haben 2024 erklärt, dass sie das Abkommen nicht unterzeichnen werden. Und sowohl Argentinien als auch die USA haben ihren Austritt aus der WHO erklärt, was nach Ablauf einer einjährigen Übergangsfrist aller Voraussicht nach Anfang 2026 wirksam sein wird. Das ist ein schwerer Rückschlag für die internationale Zusammenarbeit, denn viele neue Medizinprodukte stammen aus den USA, aber wenn das Land das Pandemieabkommen ablehnen wird, werden solche Produkte nicht mehr in den Geltungsbereich von Verteilungsverpflichtungen fallen. Mit weitreichenden Folgen: Weder die US-Regierung noch amerikanische Privatunternehmen wären also verpflichtet, medizinisch bedeutsame Proben im Pandemiefall anderen Staaten zur Verfügung zu stellen. Mehr noch: Beides könnte nur dann mit anderen Ländern geteilt werden, wenn die US-Regierung dem zustimmt – eine Ad-hoc-Diplomatie, die das Pandemieabkommen eigentlich überwinden will.

Hinzu kommt, dass die internationale Gemeinschaft durch eine mangelhafte Zusammenarbeit einzelner Staaten mit der WHO von wichtigen Informationen abgeschnitten ist. So lässt sich etwa das Infektionsgeschehen und die Gefahr einer massenhaften Ansteckung von Mensch und Tier mit dem Vogelgrippe-Virus in den USA nur durch den Austausch von Daten zum Erbgut und zur Häufigkeit des Virus in der Bevölkerung sinnvoll bewerten. Dieser Austausch findet zwar noch regelmäßig zwischen Forschungseinrichtungen statt; das Pandemieabkommen kann aber mehr Klarheit darüber schaffen, welche Art von Daten wann, von wem und an wen weitergegeben werden

## SANKTIONIERUNG UNKOOPERATIVER STAATEN IST NICHT VORGESEHEN

sollten. Darüber hinaus könnten im Rahmen eines One-Health-Ansatzes solche Informationen gesammelt und geteilt werden, noch bevor ein zoonotisches Ereignis – also die Ansteckung eines Menschen durch ein nicht-menschliches Tier – eintritt.

Ob es nun im Mai zu einer Einigung kommen wird, bleibt abzuwarten. Der diskutierte Entwurf macht es zögernden Mitgliedstaaten eigentlich einfach: Es gelten nur sehr schwache Mechanismen zur Durchsetzung von Verpflichtungen. Wer sich nicht an seine Pflichten hält, hat wenig zu befürchten. Eine Sanktionierung unkooperativer Staaten ist momentan nicht vorgesehen – was wohl ohnehin kontraproduktiv wäre. Denn zum einen könnten die Länder noch mehr Gründe finden, das Pandemieabkommen nicht zu akzeptieren, wenn es zu Sanktionen gegen sie führen könnte, und zum anderen sind weder die WHO noch andere Institutionen der globalen

Gesundheit in der Lage, Länder zu bestrafen, die sich nicht daran halten. Des Weiteren können Staaten bei Meinungsverschiedenheiten nicht verpflichtet werden, sich einem Schlichtungsverfahren zu unterziehen und dessen Ergebnisse zu respektieren.

Diese Flexibilität, die das internationale Recht trotz aller Interessensgegensätze bietet, ist eine wichtige Möglichkeit, Menschen künftig besser vor Pandemien zu schützen, aber auch in Krisenzeiten zu reagieren. Mit der rechtlichen Basis für einen umfassenden Datenaustausch und Zugang zu Hilfsmitteln – einem schlagkräftigen Pandemieabkommen, das von möglichst vielen Staaten unterzeichnet wurde und durch mehrere nationale Reformen ergänzt sein würde, ließe sich die viel beobachtete Untätigkeit bei Gesundheitskrisen durchbrechen. Die Regierungen haben es nun in der Hand, die richtigen Bedingungen dafür zu setzen.

Und nebenbei: Keinem Land, seien es die USA oder Argentinien, ist es verwehrt, auch wieder der WHO beizutreten oder das Pandemieabkommen unabhängig von einer Mitgliedschaft in der Organisation zu ratifizieren. Sollte sich der Wind irgendwann wieder zugunsten des Multilateralismus drehen, könnte das Pandemieabkommen eine Alternative zu selbstzerstörerischen nationalistischen Reaktionen auf künftige Gesundheitskrisen bieten.



# PANDEMIEN SIND DIE PEST

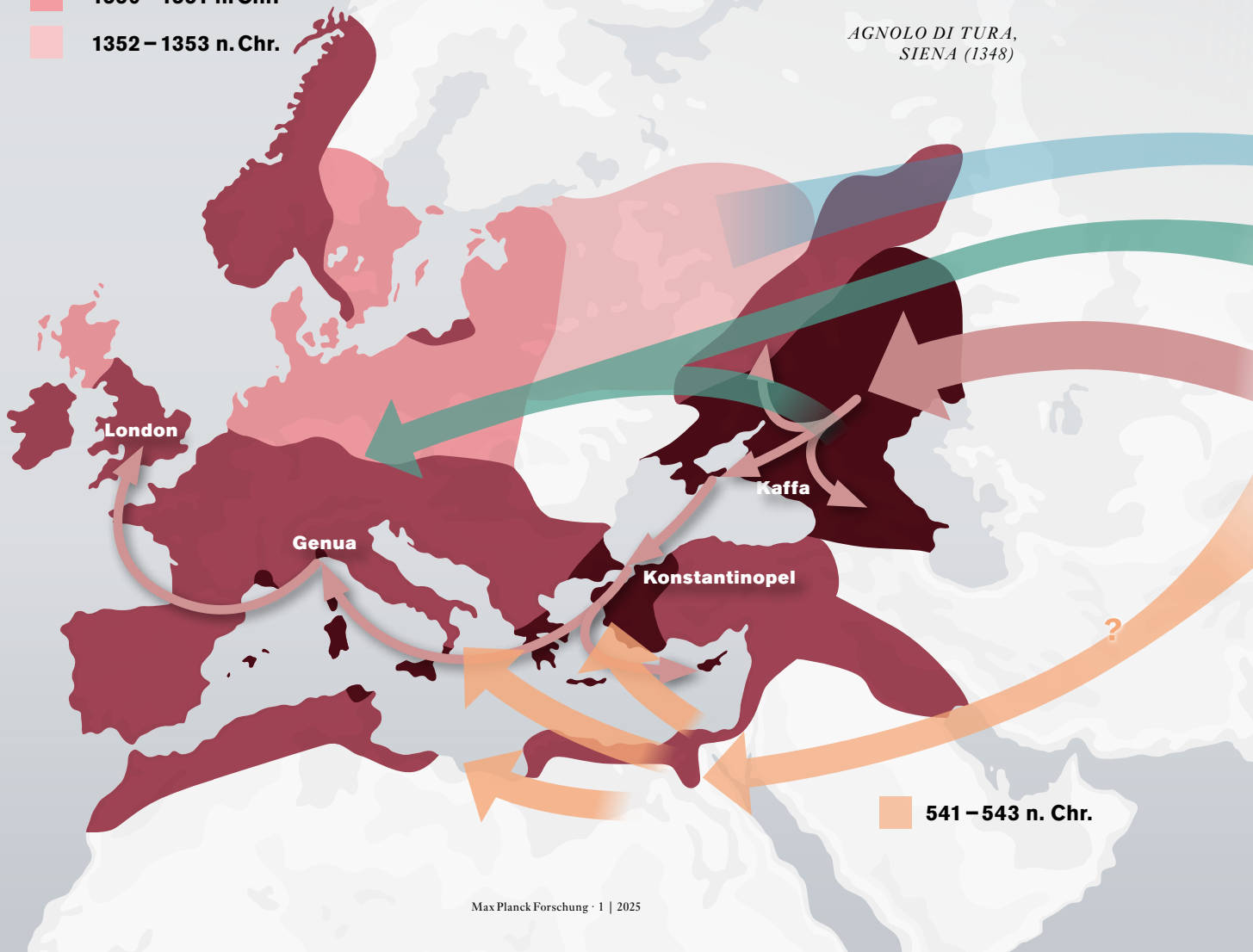
Der Schwarze Tod, mit dem die größte Pandemie in der Menschheitsgeschichte ihren Ausgang nahm, wütete in Europa zwischen 1346 und 1353. Die Seuche war von der Stadt Kaffa auf der Krim auf Handelsschiffen zuerst nach Genua gelangt und verbreitete sich von dort aus in ganz Europa (rote Pfeile). Forschende des Max-Planck-Instituts für evolutionäre Anthropologie haben den Ursprung des Schwarzen Todes an den Ausläufern des Tian-Shan-Gebirges im heutigen Kirgisien lokalisiert. Dort wurden auf einem Friedhof Menschen bestattet, die den Grabinschriften zufolge im Jahr 1338 an der Pest gestorben waren. Die Analysen förderten tatsächlich Erbgut des Pestbakteriums *Yersinia pestis* zu Tage. Vor dem Schwarzen Tod hatten bereits die Steinzeit- (grün) und die Justinianische Pest (orange) Europa heimgesucht. Die Hongkong-Pest breitete sich später von Europa nach Ostasien aus (blau).

„Das gewaltigste,  
schrecklichste,  
fürchterlichste Sterben,  
von dem je berichtet  
wurde und das man sich  
vorstellen konnte.“

AGNOLO DI TURA,  
SIENA (1348)

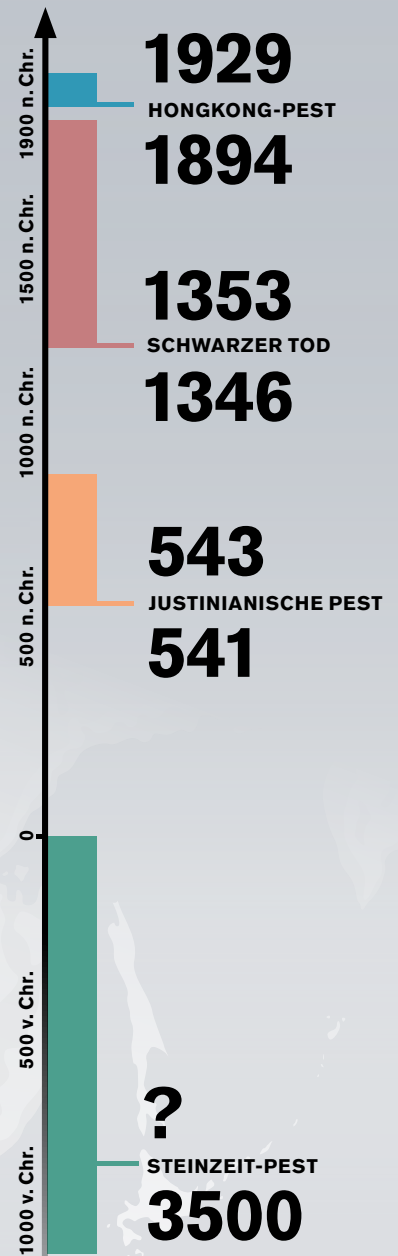
AUSBREITUNG DES  
SCHWARZEN TODES

- 1346 – 1347 n. Chr.
- 1348 – 1349 n. Chr.
- 1350 – 1351 n. Chr.
- 1352 – 1353 n. Chr.



541 – 543 n. Chr.

Erbgutanalysen haben ergeben, dass die Erreger vom Tian-Shan-Gebirge genau am Knotenpunkt liegen, von dem aus sich der Erreger in unterschiedliche Abstammungslinien aufspaltete. Eine davon führte zu einer 500 Jahre langen Pandemie, die bis ins frühe 19. Jahrhundert andauerte (rot). Eine weitere Linie löste in Ostasien die Hongkong-Pest aus (blau) sowie in jüngerer Vergangenheit kleine Ausbrüche in Afrika und Amerika (Madagaskar, Kongo, Peru). Eine dritte Linie (grau) kommt in Asien vor. (Die Jahreszahlen bezeichnen den Kernausbruch der jeweiligen Pandemie.)



### 3500 v. Chr. – ?

## TIAN-SHAN-GEBIRGE

**1894 – 1929 n. Chr.**

# IM FOKUS

---

## VOLLE LADUNG

**24** | STOFF FÜR DIE BATTERIEWENDE

**32** | IM ENDSPURT ZUR FUSIONS-KRAFT

**38** | UNGARNS BATTERIEWETTE

Da fliegen die Fäden:  
Ein neuartiges Ver-  
fahren des Schmelz-  
spinnens, das am  
Max-Planck-Institut  
für medizinische  
Forschung entwickelt  
wurde, erzeugt hauch-  
dünne Metallfasern.

Dabei fließt oder  
tropft flüssiges Metall  
aus dem beheizten  
Tiegel links auf eine  
rotierende gekühlte  
Scheibe, sodass es in  
Fäden gezogen wird.

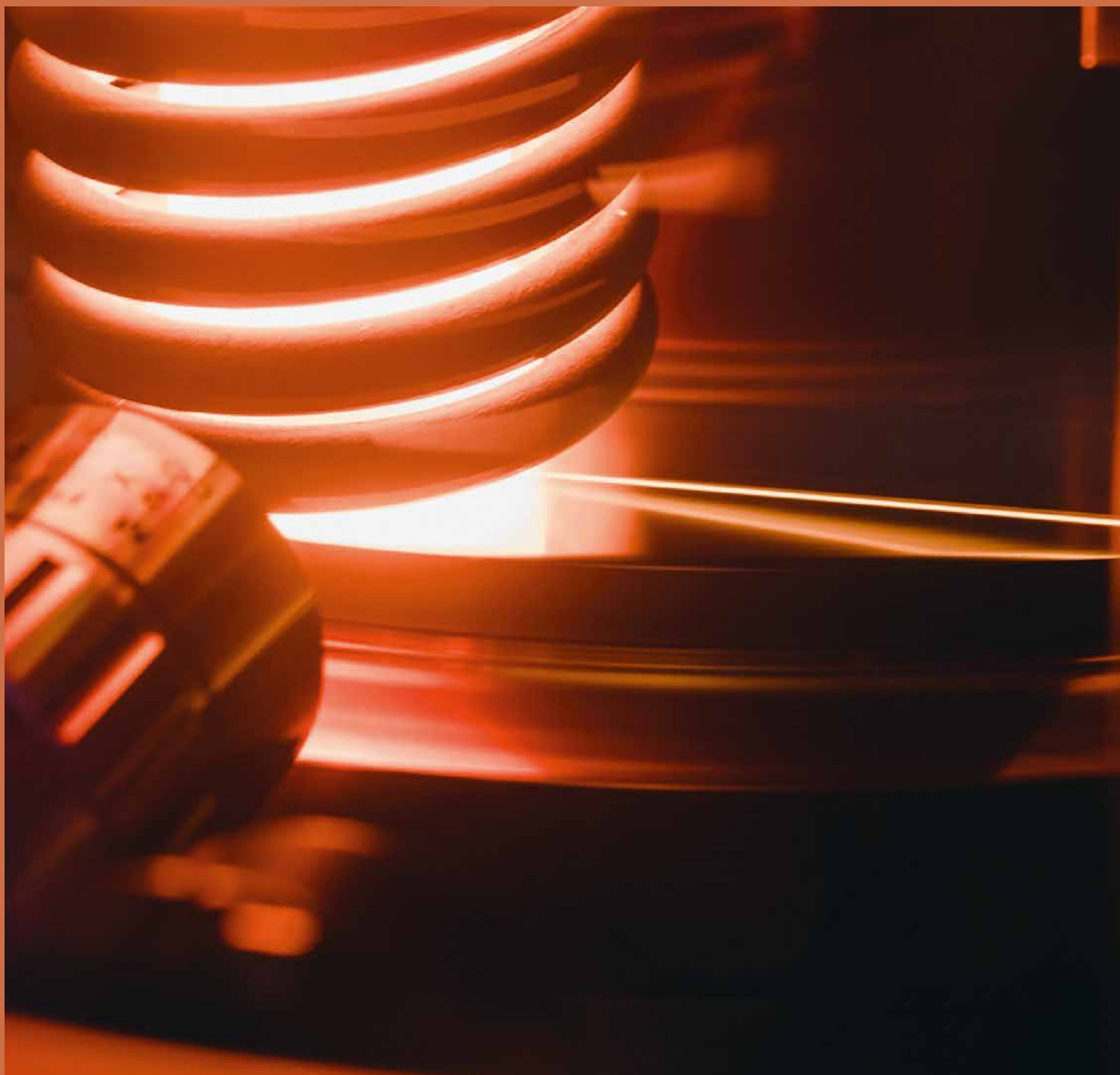


FOTO: BATENE

# STOFF FÜR DIE BATTERIEWENDE

TEXT: PETER HERGERSBERG

25

Ein Elektroauto kostet mehr als ein vergleichbarer Verbrenner, weil die Batterie so teuer ist. Und mit einer Ladung kommt auch kaum ein Modell so weit wie ein durchschnittliches Auto mit einer Tankfüllung. Die Batene GmbH, eine Ausgründung aus dem Max-Planck-Institut für medizinische Forschung, will das ändern. Das Start-up entwickelt Elektroden, die Batterien deutlich leistungsfähiger, sicherer und billiger machen könnten – und setzt dabei auf eine Spinnerei.



FOTO: HOS GRUPPE (OBEN); NGUYEN T.D. THANH (UNTEN)



FOTO: XXX

Vergangenheit und Zukunft auf Tuchfühlung: Auf dem Areal einer alten Wendlinger Textilfabrik am Neckar (oben) hat die Batene GmbH leer stehende Räume bezogen. Dabei hat das Start-up in das historische Gebäude auch einen Trockenraum gebaut, in dem es mit Metallvliesen Batterieelektroden herstellt.

Spinnen hat hier Tradition: Wo mehr als 100 Jahre lang ein Textilunternehmen Garn produzierte und Tuch webte, zieht ein Start-up heute buchstäblich Fäden für die Energiewende. Die Batene GmbH, ein Spin-off des Max-Planck-Instituts für medizinische Forschung in Heidelberg, hat einen Weg gefunden, Metalldrähte, deutlich feiner als ein menschliches Haar zu spinnen und zu fluffigen Vliesen zu verarbeiten. Diese sollen die Kontaktfolien in heutigen Batterieelektroden ersetzen und die Energiespeicher nicht nur wesentlich leistungsfähiger, sondern auch deutlich kostengünstiger machen.

Wer sich vom Zentrum Wendlingens, einer baden-württembergischen Kleinstadt, kommend dem Firmensitz der Batene nähert, kann das rote Backsteingebäude nicht übersehen. Mit seinen drei Geschossen und großen Fenstern dominiert es das Areal am Neckar – erkennbar Industriearchitektur aus dem 19. Jahrhundert. Rundherum fügen sich Anbauten jüngerer Datums mit ockergelben Klinkerfassaden in den Komplex. Seit 1861 ist hier das Textilunternehmen Heinrich Otto gewachsen, mit Betriebswohnungen, eigener Kirche und einem Wasserkraftwerk, das heute noch Strom produziert. Inzwischen belegt ein Nachfolgeunternehmen nur noch einen kleinen Teil der 20 000 Quadratmeter Gewerbefläche.

Joachim Spatz, Direktor am Max-Planck-Institut für medizinische Forschung in Heidelberg und Gründer der Batene, führt durch die loftartigen Räume, die von der Betriebsamkeit der Vergangenheit und auch deren Niedergang gezeichnet sind. Manche Teile der Gebäude stehen noch leer, die Wangen der abgenutzten Holztreppe, die dorthin führen, sind von staubigen Spinnweben verhangen. Auf anderen Flächen haben sich bereits Start-ups eingerichtet. Und bei Batene ist der Kontrast zwischen Vergangenheit und Zukunft besonders groß: In die Hallen mit industriellem Vintage-Charme hat das Unter-

nehmen Hightech-Labore und sogar einen Trockenraum, einen Raum im Raum mit großen Fensterflächen, gesetzt. Hier untersuchen die Mitarbeitenden, wie sich mit der

Batene-Technik effizient und ökonomisch Batterieelektroden herstellen lassen. Joachim Spatz hat das Unternehmen 2023 gemeinsam mit Martin Möller, Co-Geschäftsführer, und Thanh Nguyen, Co-Geschäftsführerin und Finanzvorstand des Unternehmens, gegründet. Das Start-up stellt noch laufend neue Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter ein, derzeit sind es 17, die teilweise nach ihrer Promotion in der Max-Planck-Abteilung von Joachim Spatz zu Batene gewechselt sind. Weitere zwölf Personen erforschen die Grundlagen der Technik am Heidelberger Max-Planck-Institut.

## Schmelzspinnen auf einer Drehscheibe

In einem karg eingerichteten Raum, der noch nicht komplett renoviert ist und teils als Büro, teils als Besprechungsraum dient, erklärt Joachim Spatz, wie er als Direktor des Max-Planck-Instituts für medizinische Forschung dazu

gekommen ist, sich mit Batterietechnik zu beschäftigen. „Als Physiker habe ich mich schon immer dafür interessiert, wie sich Materialien strukturieren lassen und wie sich ihre Oberfläche vergrößern lässt, weil das die Funktion der Materialien verändert und in vielen Bereichen relevant ist.“ Unter anderem hat er untersucht, wie biologische Zellen auf strukturierte Oberflächen reagieren. Bei den hauchdünnen Metallfäden ging es aber zunächst nur um die Methode an sich. Dabei gibt es bereits seit den 1970er-Jahren ein Gerät, in dem eine rotierende Walze aus einem Strahl flüssigen Metalls dünne Bänder zieht. Dieses als Schmelzspinnen oder Meltspinning bekannte Verfahren hat Joachim Spatz buchstäblich umgeworfen: „Ich habe mir überlegt, wie die Kräfte bei einem Meltspinning wirken“, sagt der Physiker. „Daraus ist dann die Idee entstanden, dass man anstelle von Bändern feinere Metallfäden erhält, wenn das flüssige Metall nicht auf eine Walze, sondern auf eine rotierende Scheibe fließt. Außerdem kann man in diesem Aufbau die Faserlänge besser kontrollieren.“ Aktuell erzeugt Batene auf diese Weise Fasern, die im Extremfall nur zwei hundertstel Millimeter breit und ein hundertstel Millimeter dick sind. Zum Vergleich: Ein menschliches Haar hat einen Durchmesser von etwa einem zehntel Millimeter.

Wie das in der Praxis aussieht, zeigt Louise Kaeswurm, Materialwissenschaftlerin und Mitarbeiterin von Batene, in einem der Produktionslabore. Durch eine Art Bullauge in einer Vakuumapparatur aus Edelstahl ist die Drehscheibe

### AUF DEN PUNKT GEBRACHT

Die Batene GmbH ersetzt die heute in Batterien üblichen metallischen Kontaktfolien durch Metallvliese. So ermöglicht sie es, bis zu zehnmal dickere Elektroden herzustellen, als heute verwendet werden.

Dank der dickeren Elektroden steigt die Energiedichte von Batterien um mindestens 30 Prozent, möglich sind sogar 80 Prozent. Gleichzeitig vereinfachen die metallischen Vliese die Herstellung und könnten die Kosten für eine Batterie um bis zu 40 Prozent senken.

Aktuell plant Batene eine Pilotanlage, um zu zeigen, dass sich Vlieselektroden großtechnisch herstellen lassen.

**„Irgendwann war die Idee da, Vliese aus Metallfäden als Kontakte in Batterieelektroden zu verwenden.“**

JOACHIM SPATZ

zu sehen, die an einen Plattenspieler erinnert. „Hier dreht sich aber nur ein äußerer Ring, der mit Wasser gekühlt wird“, erklärt Louise Kaeswurm. In der rechten hinteren Ecke hängt über dem Tellerrand, etwa so groß wie eine Tasse und hell glühend, ein Tiegel. Aus ihm rinnt das flüssige Metall auf den kalten Tellerrand, der mit rund 30 Umdrehungen pro Sekunde rotiert, wird durch die Drehung blitzschnell in die Länge gezogen und erstarrt. So fliegen die Fäden – mal meterlang, und mal eher als kurze Schnipsel, je nachdem ob die Forschenden das Metall als dünnes Rinnsal oder in winzigen Tropfen aus dem Tiegel laufen lassen. Am Ende entsteht eine metallische Watte, die sich auch beinahe so anfühlt, so fein sind die gesponnenen Fasern. Ein paar Schritte weiter steht schon das Spinnrad der nächsten Generation, ein unscheinbarer Metallwürfel, der weniger Platz braucht als eine Mikrowelle. Es soll die Fäden schon im Fließbandverfahren herstellen: Das Metall, aus dem das feine Garn entsteht, wird kontinuierlich in den Apparat nachgeführt, sodass das Spinnrad unaufhörlich Fäden produziert.

## Lösung für das Dilemma der Batterieindustrie

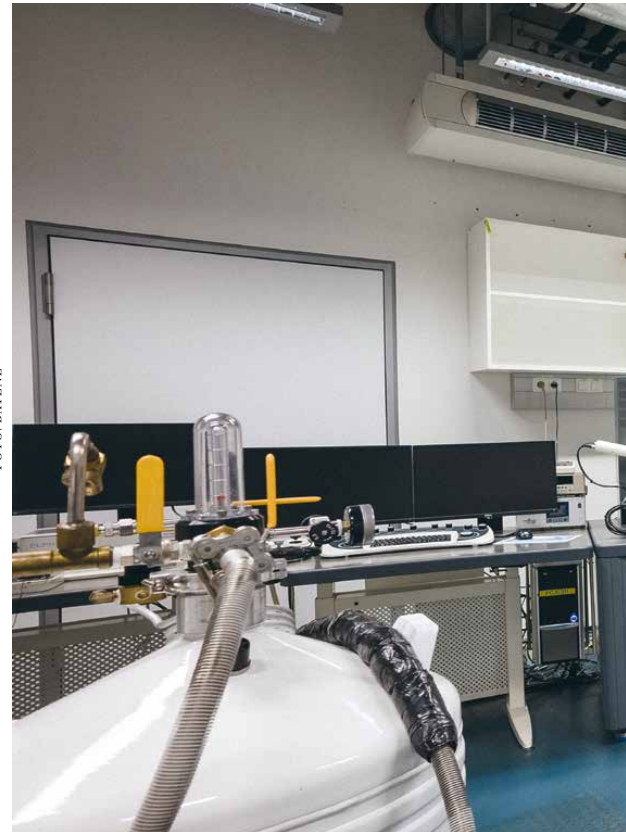
28 Als Joachim Spatz den neuartigen Schmelzspinner 2014 erfunden hatte, ließ er ihn auch gleich patentieren. Denn ihm war klar, dass es für eine Massenproduktion so feiner Metallfasern einige Anwendungen geben könnte: in Katalysatoren für chemische Reaktionen, die möglichst viel Oberfläche brauchen, um effizient zu arbeiten, als elektromagnetische Abschirmung oder als Filtermaterial etwa. „Irgendwann war dann die Idee da, Vliese aus den feinen Metallfäden als Kontakte in Batterieelektroden zu verwenden“, sagt Spatz. Denn mit ihnen könnte sich ein Problem heutiger Batterien in den Griff bekommen lassen: Das eigentliche Speichermaterial, im Fachjargon Aktivmaterial genannt, leitet Strom und Lithiumionen extrem schlecht. Damit aktuelle Batterien überhaupt in akzeptablen Zeiten geladen werden können, stapeln sich in ihnen unzählige dünne Zellschichten übereinander, die jeweils nur rund zwei zehntel Millimeter dünn sind, sodass die Ladungsträger keine weiten Wege zu den Kontakten zurücklegen müssen. So läppert sich der Anteil der Kontaktfolien und des Separatormaterials, das Plus- und Minuspol voneinander trennt, zu einer erklecklichen Menge. Die braucht Platz und bringt Gewicht mit, trägt aber nichts zur Speicherung bei. Deshalb müssen Batteriehersteller heute stets einen Kompromiss zwischen Energiedichte, also der Speicherkapazität pro Masse, und Lade- beziehungsweise Entladegeschwindigkeit eingehen. Wenn eine Batterie in kurzer Zeit viel Leistung bringen muss, in einem Sportwagen beispielsweise oder beim Start eines Elektrohubschraubers, entscheiden sie sich für besonders dünne Zellen. Das geht dann auf Kosten der Speicherkapazität, oder die Batterie wird sehr groß und schwer. „Die Versorgung eines Materials mit Ladung über zweidimensionale Schichten ist jedoch in keiner Weise effizient“, sagt Joachim Spatz und verweist auf das

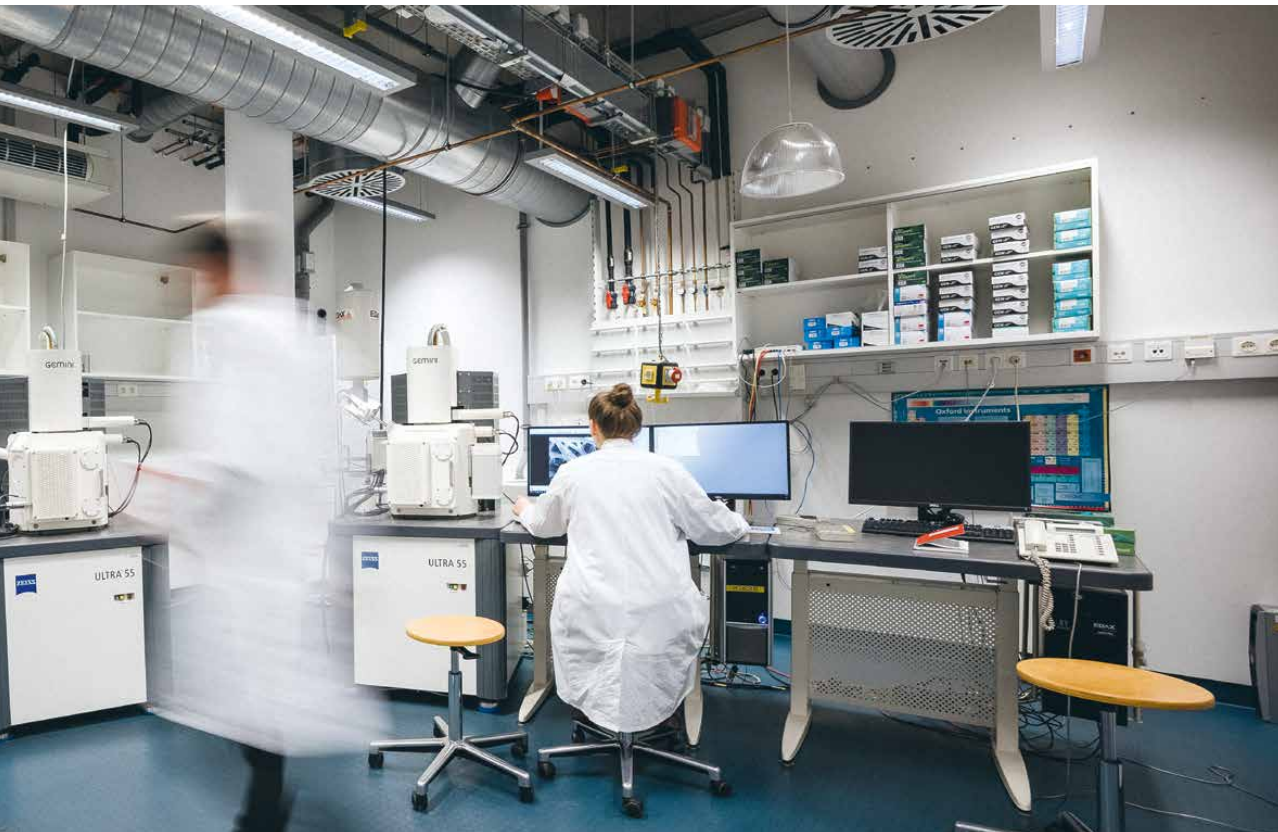
Vorbild der Natur: Sie versorge Organismen über ein dreidimensionales Netzwerk an Gefäßen. „Und das ist das Ziel unserer Technologie: ein 3D-Versorgungsnetz für Ladungsträger, über das sich Batterien effizient laden und entladen lassen.“ Vliese aus Metallfasern, die als Kontaktmaterial das gesamte Aktivmaterial einer Elektrode durchdringen, heben das Dilemma heutiger Batterien auf. Denn sie ermöglichen bis zu zehnmal dickere Batteriezellen, die ihre Ladung trotzdem blitzschnell aufnehmen und abgeben. So lassen sich in Batterien aus den dickeren Zellen 60 Prozent des Metalls für die elektrischen Kontakte und auch ein Großteil des Separatormaterials einsparen. Zudem sind die dickeren Zellen

**„Das Ziel ist ein 3D-Versorgungsnetz für Ladungsträger, über das sich Batterien effizient laden und entladen lassen.“**

JOACHIM SPATZ

FOTO: BATENE





Unter Kontrolle:  
In einem Labor  
am Max-Planck-  
Institut für  
medizinische  
Forschung  
untersuchen Mit-  
arbeitende die  
Metallvliese unter  
anderem mit  
Rasterelektronen-  
mikroskopen, die  
in der Bildmitte  
zu sehen sind.  
Die Proben wer-  
den mit flüssigem  
Stickstoff aus  
dem Tank links  
gekühlt.

stabiler als die hauchdünnen Zellen heutiger Akkus. Das ist ein wichtiger Grund, warum die Batene-Technik Batterien auch sicherer macht.

Die Vliese stellen Johannes Hirte und Daniel Hotz her, indem sie ein Knäuel der Metallfasern in ein Flüssigkeitsbad tauchen und da hindurch Luft strömen lassen. Dabei geht es in dem Behälter zu wie in einem Topf mit sprudelnd kochendem Wasser. Die Prozedur entwirrt die Fasern, sodass diese sich am Ende als metallisches Vlies am Boden absetzen. Auf ganz ähnliche Weise produziert die Papierindustrie aus Watte von Zellulosefasern dünne Bögen. Sie hat den Prozess so optimiert, dass ein Fließband die Pulpe aus Zellulosefasern und Wasser in einem dünnen, beliebig langen Band aus dem Sprudelbecken schöpft. „Dahin wollen wir bei der Herstellung unserer Metallvliese auch kommen“, sagt Martin Möller. Das Vliesband soll dann auch direkt durch einen Ofen geschoben werden, in dem eine Temperatur knapp unterhalb der Schmelztemperatur des jeweiligen Metalls herrscht. Heißer darf es nicht sein, sonst fiele das feine Metallgespinst sofort in sich zusammen und übrig bliebe nur ein Film flüssigen Metalls. Trotz der eigentlich zu niedrigen Temperatur werden die feinen Metallfasern an ihren Berührungspunkten miteinander verschweißt. Denn die Forschenden können sich hier eine Eigenheit der gesponnenen Metallfäden zunutze machen: Das flüssige Metall wird beim Aufprall auf dem gekühlten Spinnrad quasi schockgefrostet und erstarrt in der

atomaren Unordnung des flüssigen Zustands – physikalisch gesprochen enthalten die gesponnenen Fäden ziemlich viel eingefrorene Energie. Daher werden die Atome schon knapp unterhalb des Schmelzpunktes beweglich und bilden mit benachbarten Drähten feste Verbindungen – buchstäblich eine glückliche Fügung. Das ist aber nicht der einzige physikalisch-chemische Umstand, der Joachim Spatz und seinem Team zu Hilfe kam, und manchmal kam die Unterstützung durch die Natur auch völlig unerwartet.

## Eine Schnellstraße für Lithiumionen

So haben die Forscherinnen und Forscher anfangs gar nicht abgesehen, wie stark die Vliese den Ladungsaustausch mit dem Aktivmaterial beschleunigen und somit die Kapazität von Batterien erhöhen. Klar, Elektronen verteilen sich schnell über das Metallgespinst in der Elektrode und dringen von dort flugs ins Aktivmaterial ein. Aber auch ihre Gegenstücke, die positiven Ionen, heute meist Lithiumionen, flutschen dank der Metallvliese bis zu 100-mal schneller durch das Aktivmaterial als in den gängigen Folienbatterien. Wie kann das sein? Schließlich können sie ja nicht durch die Metalldrähte wandern wie Elektronen. Allerdings sammeln sich direkt an der Metalloberfläche Elektronen, und auf der Oberfläche setzen sich zum Ladungsaus-

gleich Lithiumionen ab. Diese elektrische Doppelschicht, die sogenannte Helmholtzschicht, wirkt wie eine Schnellstraße für die Lithiumionen. „Die Helmholtzschicht war schon lange bekannt“, sagt Joachim Spatz. Dass sie den Ladungstransport in Batterien beschleunigt, hat uns aber überrascht und war gänzlich neu.“

## Batterien mit mindestens 30 Prozent mehr Energiedichte

Wie leistungsfähig die Batteriezellen sind, die den Strom mit Vlies- statt Folielektroden ableiten, testen Jan Tenbusch und Maximilian Hackner im Trockenraum, den Batene in das alte Fabrikgebäude gesetzt hat. Die Luft ist darin so trocken, dass ein Mensch ohne Schutzanzug darin pro Stunde einen Liter Flüssigkeit verliert. Die Luftfeuchtigkeit muss so niedrig sein, damit das Aktivmaterial der Batterieelektroden keinen Schaden nimmt. Hier stellen Jan Tenbusch und Maximilian Hackner aus Metallvlies und einer Paste des Aktivmaterials die Elektroden her: Kupfervlies und Graphitverbindungen für den Minuspol, Aluminiumvlies und anorganische Verbindungen für den Pluspol. Die Elektroden fügen sie dann zu Batteriezellen zusammen und prüfen deren Vitalfunktionen mit einem Batterietester, der die Zellen 1000-mal lädt und entlädt. 1000 komplette Ladezyklen sind für ein Elektroauto schon viel. Denn selbst mit einer kleinen Batterie, die nur eine Reichweite von gut 300 Kilometern bringt, kann ein Auto dann schon mehr als 300 000 Kilometer fahren. Derzeit haben die Batene-Zellen einige Hundert Ladezyklen absolviert. Die aktuellen Testergebnisse belegen bereits, dass die Energiedichte der Batene-Zellen um 30 Prozent steigt und auch über Hunderte Ladezyklen stabil bleibt. Doch da ist noch mehr drin. Denn in Vlieselektroden kann Batene auch Aktivmaterialien verwenden, die zwar ausgesprochen hohe Energiedichten ermöglichen, deren Leitfähigkeit aber zu schlecht ist, um in heutigen Batterien überhaupt eingesetzt werden zu können. Das Batene-Team rechnet damit, dass sich die Energiedichte mit solchen Materialien bei schnellen Lade- und Entladegeschwindigkeiten, wie sie etwa bei Elektroautos und viel mehr noch bei Hubschraubern mit Elektroantrieb gefragt sind, im Vergleich zu heutigen Akkus um bis zu 80 Prozent steigern lässt.

Aus Sicht der Batteriehersteller ist die erhöhte Energiedichte aber nicht der einzige Vorteil der Batene-Technik, vielleicht nicht einmal der entscheidende. „Die Unternehmen, mit denen wir im Gespräch sind, interessieren sich für unsere Technik vor allem, weil sie eine deutlich einfachere und kostengünstigere Produktion von Batterien ermöglicht“, sagt Thanh Nguyen. Zudem ist die Herstellung der zarten Zellen heutiger Batterien sehr fehleranfällig. Daher erfordert es große Erfahrung, um dabei nicht zu viel teuren Ausschuss zu



FOTO: MPG / BATENE

produzieren. Gerade in dieser Hinsicht haben asiatische Firmen einen beträchtlichen Vorsprung. Bei der Fabrikation der Dünnschichtelektroden müssen die Unternehmen einen vollkommen glatten Film des aufgeschlammten Aktivmaterials nahtlos auf die Kontaktfolie aufbringen. Dafür benötigen sie zum Teil krebserregende und umweltschädliche Lösungsmittel. Und das heißt: Sie müssen nicht nur Trockenstraßen errichten, die ganze Hallen füllen, damit die Lösungsmittel aus den hauchdünnen feuchten Schichten verdampfen können. Sie müssen die giftigen Substanzen auch zurückgewinnen, ohne dass ihre Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter die Dämpfe einatmen. Das macht die Sache sehr aufwendig und teuer. Viele Batterieher-

**„Unternehmen interessieren sich für unsere Technik, weil sie eine kostengünstigere Produktion ermöglicht.“**

THANH NGUYEN

steller suchen daher nach Wegen, das Aktivmaterial trocken zu verarbeiten. Bislang verwendet zwar auch Batene Lösungsmittel, um die Aktivmaterialien in die Vliese einzubringen. Doch Joachim Spatz ist sicher, dass sich die Produktion der Batene-Elektroden tatsächlich trocken legen lässt. „Mit der Trockenbefüllung können wir vermutlich 30 bis 40 Prozent der Produktionskosten sparen, und die Anlagen brauchen ein Drittel weniger Platz.“

Energieschub und Kostenersparnis – da werden auch große Akteure im Batteriegeschäft aufmerksam: So kooperiert Batene inzwischen mit namhaften Automobilherstellern. Derzeit wirbt das Start-up Mittel für eine Pilotanlage ein, um zu zeigen, dass sich die Vlieselektroden auch im großen Stil herstellen lassen. Mit der Produktion dieser Anlage will das Start-up erste Kunden beliefern. Außerdem sollen hier Prototypen für die Automobilunternehmen entstehen, die darauf aufbauend dann Gigafabriken für ihren Massenbedarf errichten.

Dass der Absatz von Elektroautos 2024 in Deutschland stark eingebrochen ist, bereitet dem Team von Batene zwar Sorgen, aber: „In anderen Ländern boomen Elektroautos nach wie vor, nicht nur in Asien, sondern auch in Europa“, sagt Thanh Nguyen. „Die E-Mobilität wird kommen.“ Und das nicht nur im Personenverkehr, sondern auch im Schwerlastverkehr, für den lange noch Wasserstoff oder synthetische Kraftstoffe als möglicher Ersatz für Diesel gehandelt wurden. Laut dem amerikanischen Marktforschungsunternehmen S&P Global Market Intelligence hat sich das Wachstum der weltweiten jährlichen Batterieproduktion zwar etwas abgeschwächt und soll für 2025 bei Zellen mit einer Speicherkapazität von rund 1,4 Terawattstunden liegen – das entspricht etwa der Strommenge, die Einwohner einer deutschen Millionen-Stadt jährlich an Strom verbrauchen. Doch die US-Analysten gehen davon aus, dass sich die Batterieproduktion schon bis zum Jahr 2030 etwa vervierfachen wird.

Für das Unternehmen stellt es auch kein Problem dar, dass der Batteriemarkt sehr dynamisch ist, um es im Wirtschaftsjargon zu formulieren. Bis vor Kurzem galt ein Lithium-Ionen-Akku mit einem Pluspol aus Nickel, Mangan und Kobalt als erste Wahl für leistungsfähige E-Autos. Doch Nickel und Mangan sind teuer, Letzteres wird zudem unter problematischen sozialen und ökologischen Bedingungen gewonnen. Inzwischen aber fahren vor allem viele chinesische Elektrofahrzeuge mit Lithium-Eisenphosphat-Batterien. Und auch Natrium-Ionen-Batterien, die kein teures und schlecht verfügbares Lithium mehr brauchen, sind im Rennen, vor allem als große stationäre Speicher für erneuerbaren Strom. Sie liefern aber auch bereits den Strom für erste Elektroautos. Und dann gibt es auch noch Fest-

Textil für die Elektromobilität: Mit Vlieskontakten, unter anderem aus Kupfer, lässt sich die Energiedichte von Batterien um mindestens 30 Prozent erhöhen.



FOTO: BATENE

Mehr Leuchtkraft: Die Batterie mit Vlieselektroden erzeugt sichtlich mehr Leistung als diejenige mit herkömmlichen Folienelektroden. Beide Batterien enthalten die gleiche Menge Aktivmaterial.

stoffbatterien, die ohne flüssige Elektrolyte auskommen und daher sicherer und kompakter als die heute gängigsten Akkus sein sollen. Welcher Zelltyp sich am Ende durchsetzen wird – vermutlich werden es je nach Anwendung verschiedene sein –, ist noch offen. Für Batene ist das aber egal. „Unsere Technik ist für alle Zelltypen und Zellmaterialien geeignet“, sagt Joachim Spatz. Nicht zuletzt deshalb ist er zuversichtlich, was die Aussichten für Batene anbelangt: „Mit unserer Technik haben wir die Chance, den Vorsprung der asiatischen Hersteller aufzuholen und besser zu sein.“



[www.mpg.de/podcasts/energie-der-zukunft](http://www.mpg.de/podcasts/energie-der-zukunft)



31

## GLOSSAR

### AKTIVMATERIAL

speichert in einer Batterie die Energie. Dabei wird beim Entladen chemische in elektrische Energie umgewandelt, beim Laden elektrische in chemische Energie. In Lithium-Ionen-Akkus werden derzeit hauptsächlich Graphitverbindungen für den Minuspol und anorganische Verbindungen für den Pluspol verwendet.

### DÜNNSCHICHTELEKTRODEN

bestehen aus einer dünnen Metallfolie als Kontaktmaterial, auf der das Aktivmaterial aufgebracht wird. In einem Lithium-Ionen-Akku am Minuspol Kupferfolie und am Pluspol Aluminiumfolie. Zellen aus solchen Elektroden sind etwa zwei Zehntel Millimeter dick.

### VLIESELEKTRODEN

können etwa zehnmal dicker sein als Dünnschichtelektroden, weil in ihnen das Aktivmaterial von einem metallischen Vlies durchdrungen wird. So lassen sich in Batterien bis zu 60 Prozent Metall des Kontaktmaterials einsparen.

Für Extreme gemacht:  
Im Inneren von  
Wendelstein 7-X wird  
ein Plasma in einem  
Magnetfeldkäfig einge-  
schlossen. Wenn es auf  
mindestens 100 Milli-  
onen Grad aufgeheizt  
wird, kommt es darin  
zur Kernfusion. Trotz  
des Magneteinschlusses  
müssen die graphit-  
getäfelten Wände der  
Plasmakammer hohe  
Belastungen aushalten.



# IM ENDSPURT ZUR FUSIONSKRAFT

TEXT: ANDREAS MERIAN

FOTO: BERNHARD LUDEWIG / IPP

33

Ein Fusionskraftwerk verspricht quasi unerschöpfliche und saubere Energie. Daran arbeiten weltweit zahlreiche Forschungseinrichtungen und Start-up-Unternehmen. Eines davon ist Proxima Fusion. Es ist aus dem Max-Planck-Institut für Plasmaphysik gegründet worden und setzt auf ein Konzept, das dort maßgeblich entwickelt wurde. Bis Anfang der 2030er-Jahre will es eine marktreife Fusionsanlage entwickeln.

Moonshot. Ein Schuss auf den Mond. Der steht seit der erfolgreichen Landung eines US-amerikanischen Astronauten auf dem Mond für ein herausforderndes und innovatives Vorhaben mit hoch gestecktem Ziel. Und so passt es nur zu gut, dass das Gründerteam des Start-ups Proxima Fusion sein Vorhaben als Moonshot bezeichnet. Denn sein Ziel ist es, ein Fusionskraftwerk zu entwickeln und auf diese Weise saubere und schier unerschöpfliche Energie bereitzustellen. Jorrit Lion, Chef-Wissenschaftler und einer der Gründer von Proxima Fusion, fertigte seine Doktorarbeit am Max-Planck-Institut für Plasmaphysik in Greifswald an und erforschte, wie aus dem dort verfolgten Reaktor-konzept ein Kraftwerk werden könnte. Und während er dort forschte, lernte er auch die meisten seiner Mitgründer kennen. Gemeinsam entwickelten sie die Idee, durch ein Start-up schneller ans Ziel Fusionskraftwerk zu kommen. „Die Grundlagenforschung zur Kernfusion hat in Deutschland über Jahrzehnte großartige Leistungen erbracht. Für die Entwicklungen hin zum kommerziellen, stromproduzierenden Kraftwerk ist jetzt das Start-up-Unternehmen die richtige Umgebung“, erklärt Lion diesen Schritt. Denn ein Unternehmen kann sich auf die technischen und ökonomischen Aspekte konzentrieren, die entscheidend sind, um einen technisch nutzbaren Fusionsreaktor zu bauen. Und so entschied sich Lion zusammen mit vier anderen Wissenschaftlern und Ingenieuren 2023 Proxima Fusion zu gründen.

Nun arbeitet Lion also nicht mehr am Forschungsinstitut in Greifswald, sondern in einer modernen, offenen Bürolandschaft in München, die Start-up-Spirit versprüht. Die Entscheidung für München fiel aus mehreren Gründen. So beheimatet die Stadt eine große Start-up-Szene und bietet jungen Unternehmen mit Innovationszentren und der Nähe zu staatlichen und privaten Geldgebern die nötige Unterstützung. Außerdem ist es auch in München nicht weit zum Max-Planck-Institut für Plasmaphysik, in diesem Fall allerdings zum Standort in Garching. Und die beiden großen Universitäten der Stadt sind sowohl mögliche Kooperationspartner als auch Talentschmieden, aus denen qualifizierte Arbeitskräfte rekrutiert werden können. Was den Arbeitsmarkt angeht, ist München schließlich auch für internationale Talente attraktiv, denn für seine Mission möchte Proxima Fusion die klügsten Köpfe gewinnen. Heute beschäftigt das Start-up 55 Mitarbeitende an drei Standorten, neben München hat es Büros in Villigen in der Schweiz und im englischen Oxford.

Um sein Vorhaben umzusetzen, hat das Team bereits 60 Millionen Euro eingeworben. Davon stammt die eine Hälfte aus öffentlichen Mitteln, die andere von privaten Investoren. Mit diesem Startkapital wollen die Gründer zeigen, dass ihr Ansatz, einen Fusionsreaktor zu konstruieren, erfolgreich sein kann. „Wenn wir das schaffen, ist der nächste Schritt, das nötige Kapital für Alpha, unseren Demonstrator, einzusammeln“, sagt Lion. Der Zeitplan von Proxima Fusion ist bewusst ambitioniert: Bereits 2027 soll der Bau von Alpha beginnen, und 2031 will das Team zeigen, dass der Demonstrator mehr Energie produziert, als er verbraucht. Denn auch zahlreiche andere Unternehmen verfolgen das Ziel, einen Fusionsreaktor für den kommerziellen Einsatz zu bauen. Das wohl vielversprechendste Vorhaben mit dem kürzesten Zeithorizont stammt aus den USA: Commonwealth Fusion Systems hat mit etwa zwei Milliarden US-Dollar bereits die nötigen finanziellen Mittel eingeworben und Ende 2021 mit dem Bau ihres Prototyps Sparc begonnen. Schon 2027 soll Sparc Energie produzieren. Ob das Unternehmen bis dahin alle technischen Hürden nehmen kann, wird sich allerdings erst noch zeigen.

## AUF DEN PUNKT GEBRACHT

Proxima Fusion konstruiert einen Fusionsreaktor, der auf dem Stellaratorprinzip basiert. Er soll relativ einfach und kostengünstig zu bauen sein, weil er kompakter ist, als es bisherige Konzepte vorsehen.

Damit das Fusionsplasma in einem kompakteren Reaktor eingeschlossen werden kann, sind sehr leistungsfähige Magnetspulen aus neuartigen Hochtemperatur-Supraleitern erforderlich. Diese entwickelt Proxima Fusion gemeinsam mit dem Paul Scherrer Institut.

Das Münchner Start-up will 2027 mit dem Bau der Demonstrationsanlage Alpha beginnen, die 2031 zeigen soll, dass sie mehr Energie erzeugen kann, als in sie hineingesteckt wird.

Dass Skepsis angebracht ist, zeigt die Geschichte der Fusionsforschung: Seit Ende des Zweiten Weltkriegs wird an einer zivilen Nutzung der Kernfusion zur Stromerzeugung geforscht. Doch trotz aller Anstrengungen konnten Wissenschaftlerinnen und Ingenieure bisher keinen Fusionsreaktor mit einer positiven Energiebilanz realisieren. Fusionsenergie entsteht, wenn leichte Atomkerne verschmelzen. Das passiert jedoch nur, wenn extrem hoher Druck und extrem hohe Temperaturen zusammenwirken, wie es etwa in der Sonne geschieht. Dort fusionieren die Kerne von Wasserstoffatomen bei einem

Druck von rund 200 Milliarden Bar und gut 15 Millionen Grad Celsius zu Helium. Unter diesen Bedingungen liegt Materie als Plasma vor, das heißt, Elektronen und positiv geladene Atomkerne sind nicht mehr aneinander gebunden. Auf der Erde technisch nutzbar wäre die Fusion von schwerem und über-schwerem Wasserstoff – auch bekannt als Deuterium und Tritium. Doch aus einem solchen Wasserstoff-plasma mehr Energie zu gewinnen, als insgesamt in die Erzeugung hineingesteckt wurde, ist bisher noch keinem Forschungsteam gelungen (siehe *MaxPlanck-Forschung* 4/2022).

Eine Möglichkeit, die Bedingungen für die Kernfusion technisch herzustellen, besteht darin, das Plasma in ei-

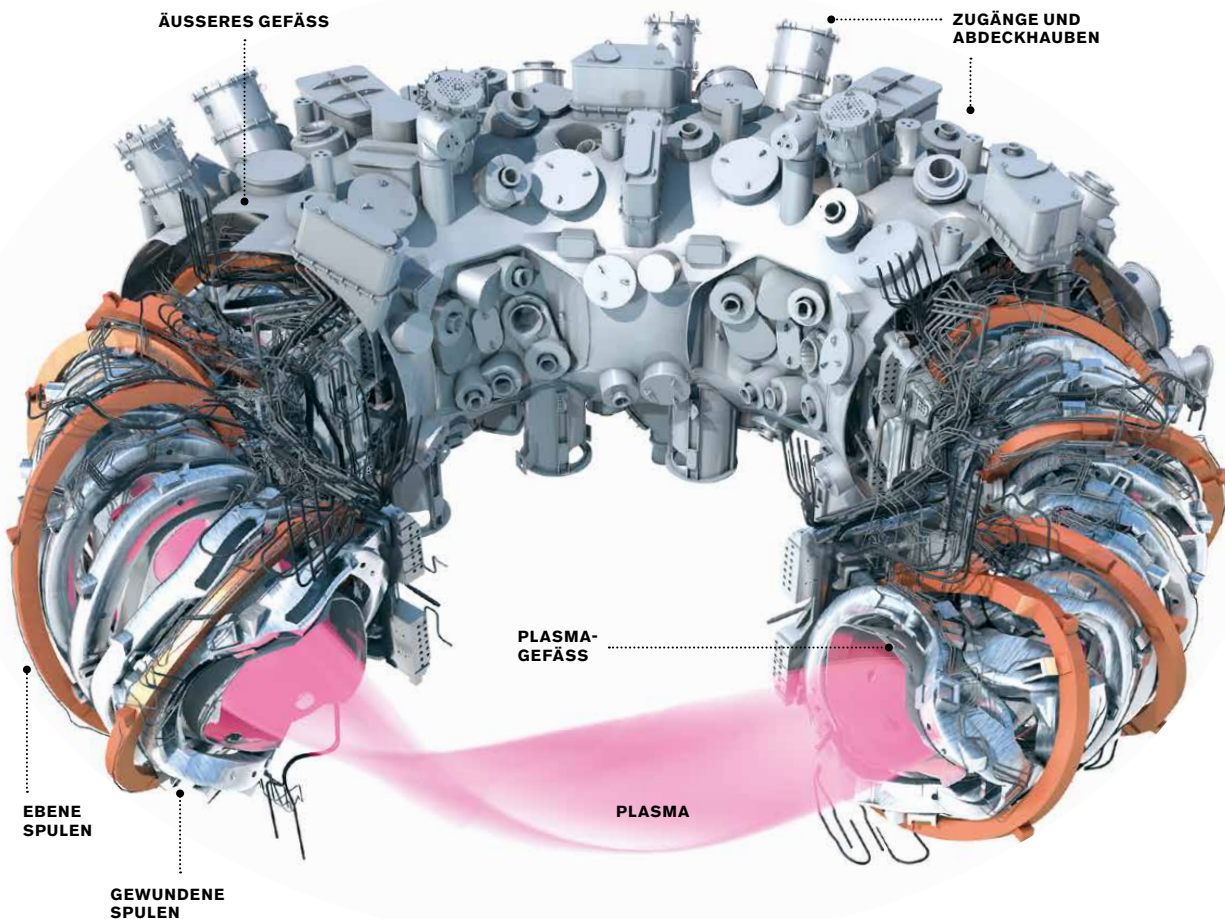
nem ringförmigen Magnetfeld einzuschließen. So kann man verhindern, dass das Plasma mit der Reaktorwand in Berührung kommt. Denn dieser Kontakt würde das Plasma abkühlen, und die sich selbst erhaltende Fusionsreaktion würde zusammenbrechen. Reaktoren des Typs Tokamak oder Stellarator setzen daher auf den Magnet-einschluss, um die Wechselwirkung zwischen Plasma und Wand zu minimieren und ein möglichst stabiles Plasma zu erzeugen. Ein Tokamak ist ein donutförmiges Gefäß, das verhältnismäßig einfach zu konstruieren ist, in dem die Fusion aber nicht dauerhaft aufrechterhalten werden kann. Gepulst kann ein Tokamak zwar trotzdem in einem Kraftwerk zum Einsatz kommen, doch wird eine solche Anlage unter anderem stark belastet, wenn der Betrieb ständig pausiert und wieder hochgefahren wird. Nach dem Tokamakprinzip funktionieren beispielsweise der große internationale Fusionsreaktor Iter und Sparc, der Prototyp von Commonwealth Fusion Systems.

Im Stellarator ähneln Plasmagefäß und Magnetfeld weniger einem Donut als einer mehrfach in sich verdrehten Teigschleife. Daher ist ein Stellarator schwerer zu konstruieren als ein Tokamak. So fehlten für die Opti-

mierung des Magnetfelds eines Stellarators lange entscheidende physikalische Kenntnisse und auch die nötige Rechenleistung. Doch seit den 1980er-Jahren sind ausreichend genaue Berechnungen möglich, und das Institut für Plasmaphysik entwickelte mit seinen Wendelsteinanlagen das moderne Stellaratorkonzept. Stellaratoren bieten entscheidende Vorteile für den Kraftwerksbetrieb: Die Fusion ist darin leichter zu kontrollieren und kann dauerhaft aufrechterhalten werden. Auch deswegen hat sich Proxima Fusion für das Stellaratorkonzept entschieden.

## Ein erstes Fusionskraftwerk in den 2030er-Jahren

Die nötige Temperatur für die Fusion wird in beiden Reaktortypen vor allem durch Mikrowellenstrahlung erreicht. Stimmen die Bedingungen, verschmelzen die Kerne von Deuterium und Tritium, und es entstehen ein Heliumkern und ein Neutron, beide mit beträchtlicher Bewegungsenergie. Für das ungeladene Neutron



Verdrehte Teigschleife: Proxima Fusion entwickelt einen Fusionsreaktor nach dem Vorbild von Wendelstein 7-X. In ihm schließt ein Magnetfeld, das ebene und gewundene Spulen erzeugen, das Plasma ein. Über diverse Zugänge kontrollieren und analysieren Forschende das Plasma in Wendelstein 7-X. Die Geometrie des Stellarators macht zwar dessen Konstruktion schwieriger, hat aber im Betrieb große Vorteile gegenüber konkurrierenden Konzepten.

ist der Magnetkäfig durchlässig, sodass das Teilchen mit voller Wucht in die Gefäßwand eindringt. Die dabei erzeugte Wärme soll wie in einem konventionellen Kraftwerk zur Stromerzeugung genutzt werden. Somit entstehen während der Stromerzeugung durch Fusion keine Treibhausgase und keine anderen schädlichen Nebenprodukte oder Abfälle. Einzig das Wandmaterial des Reaktors muss nach einiger Zeit ausgetauscht und als leicht radioaktives Material für einige Jahrzehnte gelagert werden. Die Gefahr eines GAUs mit Kernschmelze und Explosion wie im Fall eines auf Kernspaltung basierenden Atomkraftwerks besteht bei einem Fusionskraftwerk aber nicht. Da die Ausgangsstoffe zudem quasi unerschöpflich sind, sprechen Befürworter der Fusionsforschung von praktisch unbegrenzter und sauberer Energie.

Doch trotz aller Versprechungen, Pläne und Anstrengungen ist die Fusionsforschung immer noch ziemlich weit weg von einem stromerzeugenden Kraftwerk. Deshalb sprechen manche sarkastisch von der Fusionskonstante: Die Stromerzeugung durch einen Fusionsreaktor liege immer dreißig oder gar fünfzig Jahre in der Zukunft. Doch Lion ist zuversichtlich: „In den 2030er-Jahren wird das erste Fusionskraftwerk stehen. Und in unseren Augen ist das Stellaratorkonzept mit dem geringsten technologischen Risiko verbunden. Die Ergebnisse von Wendelstein 7-X zeigen, dass der Stellarator prinzipiell funktioniert.“ Denn ausschlaggebend für die Gründung von Proxima Fusion waren wichtige wissenschaftliche Fortschritte aus den Jahren 2021 und 2022. Das Team um Lion war sich damit sicher: Ein Stellarator wie Wendelstein 7-X ist kraftwerkstauglich. Entsprechend war die Idee hinter der Gründung des Start-ups, das Konzept von Wendelstein 7-X nur da zu verändern, wo es unbedingt notwendig ist. Mit einer Re-Optimierung der komplexen Geometrie will Proxima Fusion nun in wenigen Jahren zu einem funktionierenden Kraftwerksreaktor kommen.

Proxima Fusion setzt dabei auf einen Reaktor, der kompakter ist als bisherige Konzepte und damit kostengünstiger und schneller gebaut werden kann. Doch kompaktere Reaktoren brauchen deutlich stärkere Magnetfelder als große, damit sie das Plasma einschließen und effizient Energie gewinnen können. Solche starken Felder lassen sich allerdings nur mit neuartigen Hochtemperatur-Supraleitern erzeugen, die bisher noch nicht so weit entwickelt sind, dass sie in den Magnetspulen von Fusionsreaktoren zum Einsatz kommen können. Proxima Fusion arbeitet deshalb am Standort Villigen zusammen mit Fachleuten des dortigen Paul Scherrer Instituts an solchen Hochfeldspulen. Und auch in der großen Werkhalle, die direkt neben den Münchner Büros liegt, wird getüftelt. Denn das Material des Hochtemperatur-Supraleiters ist eine brüchige Keramik, die nicht einfach für die Magnetfeldspulen aufgewickelt werden kann. Deswegen wird die Keramik auf Stahlbänder aufgebracht, die dann übereinander gestapelt und um Kupferwendeln gewickelt werden.

Damit sind allerdings noch nicht alle Herausforderungen auf dem Weg zur Hochfeldspule gemeistert, und so arbeitet das Team von Proxima Fusion hinter verschlossenen Türen weiter an einigen Details. Bis spätestens 2027 will Proxima Fusion die für ihren Stellarator nötigen Spulen entwickeln. „Wenn die Spulen funktionieren und entsprechend starke Magnetfelder erzeugen, dann haben wir es geschafft!“, sagt Jonathan Schilling, Mitgründer von Proxima Fusion und Laborleiter. Denn dann hat das Start-up nach Ansicht des Teams die größte Entwicklungshürde genommen.

Der Demonstrationsreaktor Alpha soll dann mehr Energie erzeugen, als er verbraucht. In dieser Beziehung spricht man in der Fusionsforschung oft von einem  $Q$ -Wert größer 1.  $Q$  ist das Verhältnis zwischen der Leistung, die durch die Fusionsreaktion entsteht, und der Leistung, die direkt in die Fusionsreaktion hineingesteckt wird. Bisher hat weltweit erst ein einziges Fusionsexperiment einen  $Q$ -Wert größer 1 erreicht, und zwar 2022 durch laserbasierte Trägheitsfusion in der National Ignition Facility NIF in den USA. Doch obwohl damit medial wirksam die Schallmauer der Kernfusion durchbrochen wurde, bedeutet das nicht, dass so Strom erzeugt werden kann. Denn für die Erzeugung der Laserenergie war insgesamt etwa 150-mal mehr Energie notwendig, als die Laser schließlich in die Reaktorkammer pumpten. Somit setzte die Kernfusion nur etwa ein Prozent der eingesetzten Energie als Wärme frei. Und davon könnten wiederum allenfalls etwa 50 Prozent in Strom umgewandelt werden.

## Stellaris zeigt: Ein Kraftwerk ist möglich

Beim Magnetereinschlussverfahren ist die Diskrepanz zwischen Energiebilanz der Fusionsreaktion und Nettoenergieausbeute des Reaktors nicht ganz so groß. Die Heizung des Plasmas und die Kühlung der Magnetfeldspulen verschlingen im Vergleich zur Erzeugung der Laserpulse weniger Energie. Proxima Fusion müsste ein  $Q$  von etwa 10 erreichen, um Strom zu erzeugen. In einer aktuellen Studie zeigen das Start-up und das Greifswalder Max-Planck-Institut für Plasmaphysik wissenschaftlich und technisch detailliert, dass ein Stellarator mit Hochfeldspulen als Kraftwerksreaktortyp geeignet ist. Der darin beschriebene Reaktor namens Stellaris hat einen Durchmesser von etwa 25 Metern und würde etwa ein Gigawatt Strom erzeugen. Das entspricht grob der Leistung eines modernen Atomkraftwerks.

Ganze Kraftwerke möchte Proxima Fusion allerdings nicht bauen. Diesen Schritt sollen, ebenso wie den Betrieb, Energiekonzerne übernehmen. Proxima Fusion selbst möchte den wärmeerzeugenden Stellarator als Produkt anbieten. Francesco Sciortino, Mitgründer und Geschäftsführer des Start-ups, sagt: „Wir stehen



Vor dem entscheidenden Schritt: Die Mitgründer von Proxima Fusion Jorrit Lion, Jonathan Schilling und Francesco Sciortino (von links) demonstrieren, wie ein Band aus einem Hochtemperatur-Supraleiter um eine Stellaratorspule des Start-ups gewickelt wird. Sobald das Unternehmen mit den Spulen das nötige Magnetfeld erzeugen kann, ist es dem Ziel des Fusionskraftwerks deutlich näher gekommen.

bereits im Austausch mit Energieunternehmen und großen Energieverbrauchern wie beispielsweise Betreibern von Rechenzentren aus Europa und den USA.“

Bis zur kommerziellen Stromerzeugung gilt es aber, neben der Nettoenergieausbeute noch einige weitere Herausforderungen zu meistern. Ein offener Punkt ist die Verfügbarkeit von Tritium. Denn während Deuterium in ausreichender Menge natürlich vorkommt, ist Tritium aktuell nur als Nebenprodukt der Kernspaltung in Atomkraftwerken verfügbar. Nachdem diese Menge aber stark limitiert ist, planen Unternehmen wie Proxima Fusion, Tritium später selbst herzustellen. Einmal gestartet, soll ein Fusionsreaktor sein eigenes Tritium ausbrüten. Als Brüten bezeichnet man den Prozess, in dem ein Teil der energiereichen Neutronen aus der Fusion in den Reaktorwänden auf Lithium treffen und so Helium sowie Tritium erzeugen. Wie genau dieser Prozess abläuft und gesteuert werden kann, ist noch nicht getestet. Momentan stehen nämlich keine Quellen derart hochenergetischer Neutronen zur Verfügung, mit denen Reaktionen im Wandmaterial experimentell untersucht werden können. Proxima Fusion setzt darauf, dass andere Unternehmen wie beispielsweise Kyoto Fusion die notwendige Technik entwickeln.

Auch bei weiteren Herausforderungen erwartet das Start-up, dass staatliche Institutionen und die zahlreichen Unternehmen die Bedingungen für die Fusion gemeinsam schaffen. Beispiele dafür sind die Herstellung des Wandmaterials, das im Reaktor extremen Bedingungen ausgesetzt ist, und regulatorische Themen wie Abfallbeseitigung und Reaktorsicherheit. Dazu arbeitet Proxima Fusion mit zwei weiteren deutschen Fusions-

Start-ups zusammen und ist auch international gut vernetzt. Ob sich Fusionskraftwerke durchsetzen werden, wenn sie sich als technisch machbar erweisen, darüber entscheidet am Ende die Wirtschaftlichkeit und auch die Kompatibilität der Kraftwerke mit dem dann bestehenden Stromnetz. Doch bei aller Unsicherheit des Moonshots Fusionsstrom ist das Team von Proxima Fusion motiviert. Lion sagt: „Die Aussicht auf unbegrenzte und saubere Energie ist einfach zu gut, um es nicht zu versuchen.“



[www.mpg.de/podcasts/energie-der-zukunft](http://www.mpg.de/podcasts/energie-der-zukunft)



## GLOSSAR

### *Q-WERT*

ist das Verhältnis zwischen der erzeugten Energie und der Energie, die unmittelbar ins Plasma gesteckt wird, um es zu heizen.

### *STELLARATOR*

heißt die Bauweise eines Fusionsreaktors, die einer gewundenen Teigschlange ähnelt. Seine Konstruktion ist komplizierter als die eines Tokamaks, erlaubt aber einen kontinuierlichen Betrieb.

### *TOKAMAK*

wird eine Anlage genannt, die die Form eines Donuts hat und nur gepulst, also in Intervallen betrieben werden kann.



Baustelle einer Gigafabrik des chinesischen Batterieherstellers CATL nahe der ungarischen Stadt Debrecen im Jahr 2024. Präsident Viktor Orbán hat Ungarn innerhalb weniger Jahre zur viertgrößten Batterienation der Welt gemacht.

# UNGARNS BATTERIEWETTE

TEXT: JANNIK JÜRGENS

FOTO: GETTY IMAGES / ATTILA KISBENEDEK

39

Pálma Polyák erforscht, wie Viktor Orbán Ungarn zu einer der größten Batterie-nationen der Welt ausbaut. Es ist ein riskantes Spiel mit Umwelt, Demokratie, geopolitischer Abhängigkeit – und der EU. Doch auch Deutschland handle kaum besser, sagt die Wissenschaftlerin des Max-Planck-Instituts für Gesellschaftsforschung in Köln.

Am 20. Januar 2023 drängen sich mehr als 200 Menschen in einen kleinen Saal der ungarischen Stadt Debrecen. Kameras richten sich auf Männer und Frauen in dunklen Anzügen, die der Bevölkerung gegenüber sitzen. Sie sind verantwortlich für den Bau einer neuen Batteriefabrik und wollen den Einwohnerinnen und Einwohnern heute erklären, dass die Umwelt dabei geschützt werde. Doch die Sitzung wird anders verlaufen, als sie es sich erhoffen.

Präsident Viktor Orbán hat Ungarn zur viertgrößten Batterieation der Welt gemacht. Seit 2022 lockt er südkoreanische und chinesische Unternehmen mit großzügigen Anreizen ins Land. Schon jetzt produziert Ungarn pro Jahr Batterien mit einer Kapazität von 87 Gigawattstunden (GWh). Nur China, die USA und Polen liegen vor dem osteuropäischen Land, das etwa über die Wirtschaftskraft der Metropolregion München verfügt. Die neue Fabrik des chinesischen Unternehmens CATL in der Nähe von Debrecen soll die ungarische Produktionskapazität noch einmal mehr als verdoppeln. „Ungarn setzt alles auf die Batteriebranche“, sagt Pálma Polyák, wissenschaftliche Mitarbeiterin am Max-Planck-Institut für Gesellschaftsforschung in Köln. Die 36-Jährige beschäftigt sich seit Jahren mit der ungarischen Wirtschaftspolitik und kritisiert die extreme Fokussierung auf die Batteriebranche. Wenn alle geplanten Fabriken gebaut werden, würde Ungarn sechsmal so viele Batterien produzieren, wie das Land selbst benötigte. Polyák hat es ausgerechnet. Klar, wenn die Energiewende gelingen und auch der Verkehr weg vom klimaschädlichen Sprit soll, benötigt die europäische Automobilindustrie viele Batterien. Die Frage ist nur, ob es sinnvoll ist, dass die zum großen Teil in Ungarn gebaut werden.

„Ich kritisiere nicht generell, dass Ungarn in die Batteriebranche investiert. Das ist gut und richtig“, sagt Polyák. Doch das Ausmaß der Investitionen sei zu extrem. Dem Land fehlten drei entscheidende Voraussetzungen, um die Batterieindustrie noch stärker zu entwickeln: qualifizierte Arbeitskräfte, ausreichende Wasserreserven und grüne Energie. In der Stadthalle von Debrecen kommen die Verantwortlichen des Batterieprojektes kaum zu Wort. Sie werden ausgebuht, immer wieder skandieren die Einwohner: „Verräter, Verräter!“ Irgendwann greift sich eine ältere Frau das Mikrofon. Sie stellt den Verantwortlichen eine Frage: „Warum bringt ihr nicht erst mal Trinkwasser in mein

Dorf, bevor ihr eine Fabrik baut, die mehr Wasser verbrauchen wird als die ganze Stadt?“ Debrecen liegt in der großen ungarischen Tiefebene, einer Steppenlandschaft, die in den vergangenen Jahren immer wieder mit Dürren zu kämpfen hatte. Man kann davon ausgehen, dass der Klimawandel die Wasserknappheit in der Region noch verstärken wird. Trotzdem fördert der ungarische Staat die wasserhungrige chinesische Fabrik mit 88 Milliarden Forint, umgerechnet 217 Millionen Euro.

## AUF DEN PUNKT GEBRACHT

Europa braucht eine starke Batterieindustrie, um unabhängiger von China zu werden. Doch Ungarns rasanter Ausbau unter Orbán birgt Umweltrisiken und baut geopolitische Abhängigkeiten sogar aus.

Die EU unterstützt den Ausbau, obwohl Ungarn von russischem Gas und China abhängt. Auch Deutschland setzt auf chinesische Fabriken wie CATL, statt eine eigene Produktion zu fördern.

Forscherin Pálma Polyák fordert: Nur mit gezielten Investitionen in die Forschung kann Europa strategische Autonomie erreichen – ohne Umwelt und Demokratie zu gefährden.

Woher das Geld kommt? „Autokratien wie Ungarn sind sehr gut darin, Geld im öffentlichen Sektor zu sparen, um es dann für Prestigeprojekte auszugeben“, sagt Pálma Polyák. Die Wissenschaftlerin formuliert eine weitere Kritik: Ungarn missachte systematisch Umwelt- und Arbeitsrechtsstandards, die für Batteriefabriken gelten. Und weil Viktor Orbán Ungarn zur Autokratie umgebaut habe, könne er das machen, ohne dafür politisch zur Verantwortung gezogen zu werden, sagt Pálma Polyák.

Die Einwohner von Debrecen sind an diesem Tag im Januar 2023 so wütend, weil sie von Skandalen in einer anderen ungarischen Batteriefabrik gehört haben. Seitdem der koreanische Hersteller Samsung Batterien in Göd produziert, häufen sich die schlechten Nachrichten. Eine NGO

stellte bei Messungen giftige Chemikalien im Grundwasser fest. Ein Detail ist fast noch beunruhigender als die Messung selbst: Als die NGO das prüfen wollte, entdeckte sie, dass der Messbrunnen versiegelt war. Es wirkte so, als wolle die Fabrik etwas verheimlichen. Pálma Polyák erinnert die Fokussierung auf die Batterieproduktion an Sowjetzeiten. Damals sollte Ungarn

# „In der EU gilt Ungarn mittlerweile als trojanisches Pferd Russlands.“

PÁLMA POLYÁK



Pálma Polyák, Wissenschaftlerin des Max-Planck-Instituts für Gesellschaftsforschung in Köln, erforscht seit Jahren die ungarische Wirtschaftspolitik und sieht den Fokus auf der Batterieproduktion kritisch.

das Land von Eisen und Stahl werden, obwohl es über keinerlei Rohstoffe verfügt.

Nach dem Zusammenbruch der Sowjetunion gab es dann ein böses Erwachen: Einige Stahl- und Eisenwerke schlossen, und Tausende von Arbeitsplätzen gingen verloren. Polyák erlebte die Auswirkungen dieses Strukturwandels persönlich. Das kleine Dorf, in dem sie aufwuchs, blutete aus. Die Menschen, die vorher Metallplatten produziert hatten, fielen in die Arbeitslosigkeit oder zogen weg. Nicht wenige nahmen sich das Leben, so ausweglos erschien ihnen die Situation. „Es gab zu der Zeit eine große Übersterblichkeit“, sagt Polyák.

Eine weitere Parallele zur Sowjetzeit drängt sich auf. Der ungarische Staat versucht, jegliche Kritik an der Batterieproduktion im Keim zu ersticken, und er wählt dafür drastische Mittel. Nachdem die Versammlung in Debrecen zum Fiasko für die Verantwortlichen geworden war, schaffte die Regierung öffentliche Pflichtanhörungen per Dekret ab. Sie blockierte Referenden, lehnte Informationsgesuche ab und schüchterte Protestierende ein. Polyák berichtet von Oppositionspolitikern, die

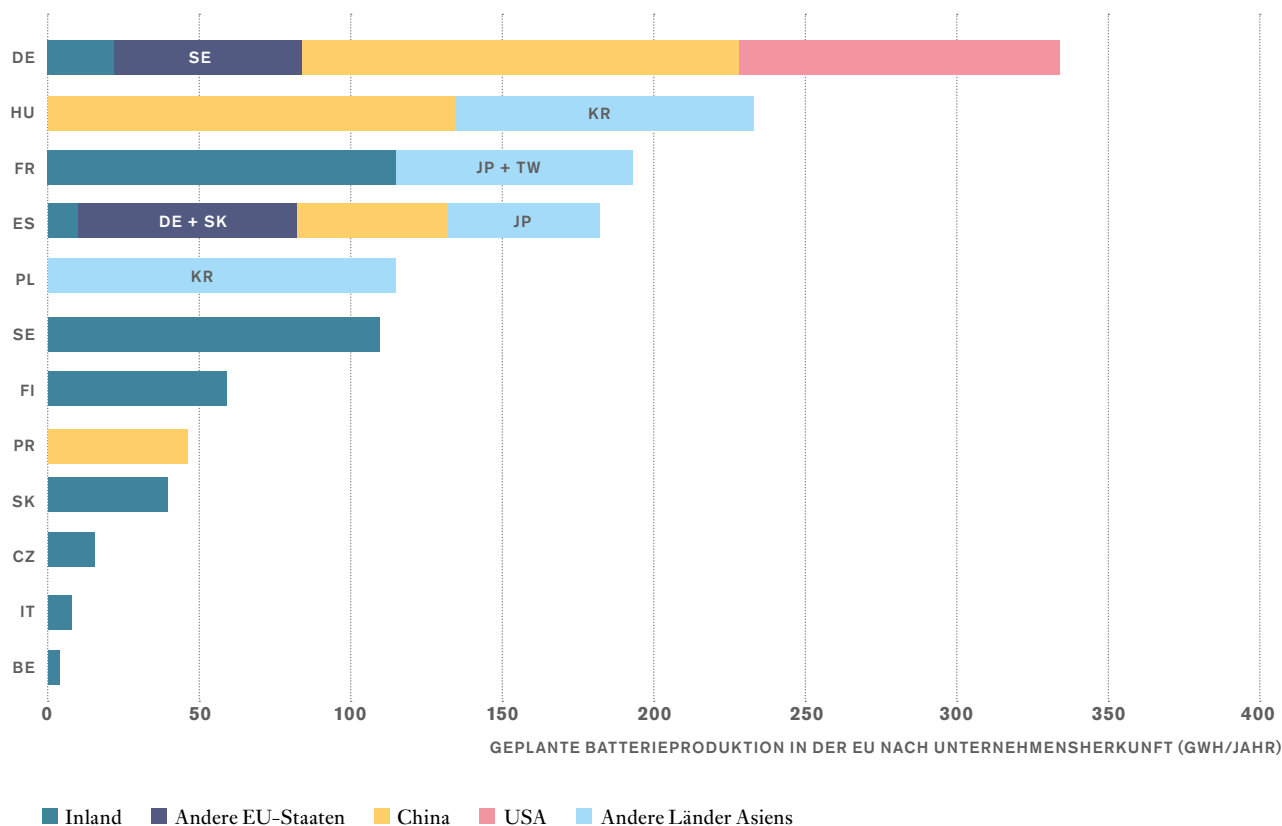
nach Demonstrationen zu 48 Stunden gemeinnütziger Arbeit verurteilt wurden, und von rechten Websites, die Gegner der Fabrik verunglimpfen.

Bevor Polyák als wissenschaftliche Mitarbeiterin am MPI anfang, arbeite sie vier Jahre lang in Brüssel. Sie leitete das Büro eines EU-Abgeordneten und war als Politikberaterin aktiv. Entsprechend gut kennt sie sich mit den Machtmechanismen der Europäischen Union aus. Und entsprechend überrascht war sie, wie positiv die EU-Kommission Ungarns Batterieproduktion bewertet. Der ehemalige Vizepräsident der EU-Kommission Maroš Šefčovič bezeichnete Ungarn als „Pionier“ und „Champion“ der Dekarbonisierung und der strategischen Autonomie. Beide Zuschreibungen seien falsch, sagt Polyák. Für die Batterieproduktion in Ungarn werde fast ausschließlich Gas genutzt, von einer nachhaltigen Produktion mit erneuerbarer Energie könne keine Rede sein. Das Gas stamme zudem aus Russland, was nicht zu strategischer Autonomie, sondern zu einer strategischen Abhängigkeit führe. „In der EU gilt Ungarn mittlerweile als trojanisches Pferd Russlands“, sagt Polyák.

## Chinesischer Einfluss

Neben Russland hat sich China zum wichtigsten Partner entwickelt. Das Land investiert massiv: Huawei betreibt in Ungarn die größte Produktionsanlage außerhalb Chinas, und der Elektroautohersteller BYD kündigte im Dezember den Bau seines ersten Werks in Europa an, das in Szeged entstehen soll. Weil Orbán seine guten Beziehungen zu China nicht aufs Spiel setzen wolle, bezweifelt Polyák auch, dass die Batteriefabrik verstaatlicht werden könnte, wenn China beispielsweise Taiwan angreifen würde. Die Gemeinsamkeiten zwischen Ungarn und China seien zu groß. „Wir sind jetzt an einem Punkt in den bilateralen Beziehungen, an dem Ungarn chinesische Polizisten einlädt, um auf den Straßen von Budapest zu patrouillieren“, sagt Polyák. So geschehen beim Besuch des chinesischen Präsidenten Xi Jinping in Budapest im vergangenen Jahr. Kritiker befürchten, dass die chinesische Polizei den Einsatz nutzte, um chinesische Dissidenten auszuspionieren.

Man könnte das Ganze so zusammenfassen: Ungarn begibt sich durch seine Wirtschaftsstrategie in zunehmende Abhängigkeit vom autoritären China – obwohl die EU eben diese Abhängigkeit reduzieren will. Für China lohnt sich das Engagement in Ungarn nicht nur aus wirtschaftlicher Perspektive. Es übt bereits jetzt massiven politischen Einfluss aus. Immer wieder blockiert Ungarn chinakritische Erklärungen der EU, 2021 etwa zur umstrittenen Wahlrechtsreform in Hongkong, die den Einfluss der Opposition deutlich einschränkte und die Demokratie schwächte. Polyák kritisiert auch die Rolle der EU-Kommission beim massiven Ausbau der Batterieproduktion in Ungarn. Denn ohne eine



Geplante Batterieproduktion in der EU nach Herkunftsländern der Unternehmen. Es wird deutlich: Chinesische Gigafabriken dominieren in Deutschland und Ungarn.

Grundsatzentscheidung der EU-Kommission hätte Ungarn niemals die chinesische Batterieindustrie anlocken können. Erst seit 2022 erlaubt die EU ihren Mitgliedstaaten, inländische Unternehmen zu subventionieren. Vorher galt das als unerlaubter Eingriff in den gemeinsamen Markt. Um die Subventionen zu begründen, nannte die EU-Kommission damals drei Argumente: Klimaneutralität, strategische Autonomie und Schutz der europäischen Automobilindustrie.

„Wenn es darum ginge, möglichst schnell klimaneutral zu werden, könnte man die Batterien auch aus China, Japan und Südkorea importieren“, sagt Polyák. Denn Asien hat zwei Wettbewerbsvorteile: Sowohl Energie als auch Arbeitskosten sind geringer. Das Argument der EU-Kommission, dass man bei asiatischen Batterien nicht sicher sein könne, ob sie den Umweltstandards der EU entsprächen, lässt Polyák nicht gelten. Nach den Skandalen in Göd sei klar, dass auch ungarische Batterien nicht diesen Standards entsprechen. Die Wissenschaftlerin schließt daraus, dass es der EU

vor allem um den Schutz der europäischen Automobilindustrie gehe. Die Branche beschäftigt rund drei Millionen Menschen direkt, etwa eine Million Menschen sind bei deutschen Unternehmen angestellt. Diese industrielle Basis zu schützen sei eine valide Motivation, sagt Polyák. Doch dabei dürfe nicht die Umwelt aufs Spiel gesetzt werden.

## Deutsche Abhängigkeit wächst

In einer noch nicht veröffentlichten Arbeit vergleicht Polyák die ungarische Batteriestrategie mit der deutschen Strategie. Die Ergebnisse hätten sie ziemlich überrascht, sagt die Wissenschaftlerin. Denn so stark unterschieden sich die beiden Länder in ihren Strategien nicht. Auch Deutschland werde bei der Batterieproduktion zu einem großen Teil von einer chinesischen Fabrik abhängig sein, die in Thüringen von CATL gebaut wird. „Dabei hätte Deutschland durchaus finanzielle Mittel und nationale Akteure, um selbst

eine Batterieproduktion auf die Beine zu stellen“, sagt Polyák. „Das können neben den größeren Unternehmen auch Start-ups sein, die bestimmte Techniken in der Batterieherstellung entwickeln. Es geht vor allem darum, Forschung und Entwicklung zu unterstützen, und das langfristig.“ Hier werde eine riesige Chance vertan.

Die deutschen Autobauer kündigten zuletzt an, geplante Batteriefabriken kleiner ausfallen zu lassen. Volkswagen stutzte seine Batteriefabrik in Salzgitter von 40 Gigawattstunden auf 20 Gigawattstunden, der Bau einer Batteriefabrik in Kaiserslautern, die Mercedes-Benz unter anderem mit dem französischen Stellantis-Konzern finanzieren wollte, wurde komplett gestoppt. BMW stornierte Aufträge bei Northvolt – nicht nur aus ökonomischen Gesichtspunkten, sondern auch aufgrund von Qualitätsproblemen bei den Batterien. Parallelen zwischen Deutschland und Ungarn sieht Polyák zudem bei der Frage der Wasserversorgung. Genau wie Debrecen in Ungarn sei Grünheide in Brandenburg, wo Tesla eine Gigafactory gebaut hat, ein Ort, der bereits unter Dürren zu leiden hatte. Einwände von Lokalpolitikern und Klimaaktivisten seien beiseitegeschoben worden.

## „Ich glaube, dass Subventionen für Forschung und Entwicklung in Europa jetzt am wichtigsten sind.“

PÁLMA POLYÁK

Ein Vorbild sieht Polyák in Frankreich und in den nördlichen Ländern Finnland und Norwegen – sowie in Schweden, trotz jüngster Rückschläge. Französische Unternehmen hielten an ihren Batterieplänen fest, auch wenn die Kosten für die Fabriken stiegen. „Dieses strategische Denken ist auch dem Fakt geschuldet, dass der Staat in Frankreich traditionell einen stärkeren Einfluss auf Unternehmensentscheidungen hat“, sagt Polyák. Möglich sei das durch staatliche Beteiligungen wie beispielsweise bei Renault.

In Schweden sei die Batteriestrategie in einem inklusiven Prozess entwickelt worden, der Akteure aus Industrie, Kommunen und Wissenschaft einbezog. Bisher produ-

zieren Gigafactorys in Schweden 60 Gigawattstunden Kapazität pro Jahr. 2025 sollen mit zwei weiteren Fabriken zusätzliche 100 Gigawattstunden dazukommen. Trotz der Krise bei Northvolt, Schwedens Batteriehersteller, der nicht die versprochenen Mengen liefern kann und in den USA Gläubigerschutz beantragen musste, sieht Polyák in den nordischen Ländern großes Potenzial. Schon die geografische Lage sei ein Pluspunkt. „Das kältere Klima führt dazu, dass der Kühlungsbedarf bei der Produktion geringer ist und weniger Wasser verbraucht werden muss“, sagt Polyák. Hinzu komme, dass Schweden, Finnland und Norwegen eine gemeinsame Strategie verfolgten. Eine Meldung, die in der Berichterstattung über die Northvolt-Krise fast unterging: Die staatliche Finnish Minerals Group erhielt kürzlich grünes Licht für eine Batterieproduktion mit 60 Gigawattstunden Kapazität.

## Aufholjagd mit Innovationen

Wenn man Polyák fragt, wie die EU ihre Batteriestrategie verbessern könnte, kommt die Wissenschaftlerin noch einmal auf die drei selbst gesetzten Ziele zu sprechen: Klimaneutralität, strategische Autonomie und Schutz der europäischen Automobilindustrie. „Es ist unmöglich, diese drei Ziele gleichzeitig zu erreichen. Dafür widersprechen sie sich einfach zu stark“, sagt Polyák. Wenn man in einem Bereich vorankomme, führe das zu Rückschritt in einem anderen Bereich. Deswegen müsse man sich auf ein Ziel einigen.

Ein Schlüsselproblem der europäischen Batteriestrategie ist, wer die wertschöpfungsintensiven Bereiche wie Forschung, Entwicklung und Design kontrolliert, so Polyák. Während ausländische Investitionen Arbeitsplätze schaffen, bleibe der eigentliche Mehrwert oft im Herkunftsland der Unternehmen. Ohne eigene starke Akteure, so die Forscherin, werde Europa nur zum Produktionsstandort, während zentrale Technologien und Patente anderswo entwickelt werden. Langfristig droht so eine neue Abhängigkeit. Wichtiger als reine Produktionskapazitäten sei der Aufbau eigener Innovationsstrukturen. „Ich glaube, dass Subventionen für Forschung und Entwicklung in Europa jetzt am wichtigsten sind“, sagt Polyák. Nur mit Innovationen und eigenen Technologien könne man den Vorsprung der chinesischen Unternehmen aufholen. Doch dafür müsse man geduldig sein – und dürfe nicht beim ersten Gegenwind seine Investitionen abziehen.

43



[www.mpg.de/podcasts/energie-der-zukunft](https://www.mpg.de/podcasts/energie-der-zukunft)



Hoch oben im Norden Deutschlands zwischen Kiel und Lübeck, inmitten einer malerischen Seenlandschaft, liegt ein Forschungsinstitut: Am Max-Planck-Institut für Evolutionsbiologie im beschaulichen Plön entwickeln Arne Traulsen und sein Team Modelle, mit denen sich Abläufe in der Natur nachstellen lassen.

TEXT: NORA LESSING

Arne Traulsen steht nicht gern im Mittelpunkt. Die Vorstellung eines Porträt-Artikels, der ausschließlich von ihm selbst handelt, behagt ihm gar nicht. Sie passt nicht zu dem Bild, das er von sich selbst hat. „Im Nachhinein kann man in eine berufliche Laufbahn immer etwas hineininterpretieren. Meine Forschung ist aber keine mit Weitsicht geplante Heldenreise, auf der eine geniale Erkenntnis auf die nächste folgt.“

Ein Januartag auf der Schwentinebrücke in der Plöner Innenstadt. Mittags um zwölf weht hier eine steife Brise. Arne Traulsen kommt zu Fuß und fragt als Allererstes, ob wir uns duzen sollen. Als Nächstes möchte er wissen, ob die Max-Planck-Gesellschaft mir die Anreise bezahlt, und lädt mich erst mal zum Mittagessen ein. Seine Frau, eine Veterinärmedizinerin, arbeitet als Fachjournalis-

tin. Er kennt also die Herausforderungen, die das Leben an Selbstständige stellt. Wir sprechen über den US-Präsidenten, die zunehmende Popularität rechter Positionen, meine Heimatstadt Berlin. Er selbst wohnt am Ortsrand von Plön. Noch lieber wäre er aber richtig auf dem Dorf. In übersichtlichen Verhältnissen fühlt er sich wohl – ob im Privatleben oder im Beruf. „Wenn ich beruflich unterwegs bin, freue ich mich immer wieder auf zu Hause“, sagt Arne Traulsen.

Arne Traulsen wurde 1975 in Kiel geboren und wuchs in einem 160-Seelen-Ort auf. „Das ist eine kleine Streusiedlung mit viel Landwirtschaft drum herum.“ Seine Eltern sind studierte Landwirte – Menschen, die praktisch veranlagt sind. Früh brachte der Vater ihm bei, wie man Traktor fährt, Fahrräder repariert, mit Holz baut. Die Liebe zur Natur, zum Land, zum Norden übertrug sich: Drei der vier Kinder leben bis heute in der Gegend. Arne Traulsens Schwester hat einen Bauernhof in der Nähe, der jüngere Bruder hat das Elternhaus übernommen. Die Geschwister treffen sich regelmäßig. „In der Großfamilie machen wir alle zusammen unseren eigenen Apfelsaft.“

Aus der Plöner Innenstadt braucht man zu Fuß 10 Minuten bis ans Max-Planck-Institut. Im Moment ist dort Baustelle: Das Institut ist gewachsen,

→

# BESUCH BEI

---

ARNE  
TRAULSEN

FOTO: MICHAEL HESSE / MPI FÜR EVOLUTIONS BIOLOGIE



45

Arne Traulsen kann zuhören. Im auf Zusammenarbeit ausgerichteten Umfeld seiner Abteilung sollen alle ihre individuellen Talente entfalten können.



mehr Platz muss also her. Auf dem Weg in sein Büro erzählt Arne Traulsen Anekdoten aus der Geschichte des Plöner Instituts, grüßt im Vorbeigehen Passanten und Kollegen. Man kennt sich hier und trifft sich beim Einkaufen, Schwimmen oder Paddeln.

Dass er studieren und promovieren wollte, war für ihn schon früh klar. Dass er mal Professor oder Max-Planck-Direktor werden würde, nicht. „Ich wollte ursprünglich eher draußen sein und etwas Praktisches machen. Als Geophysiker Feldarbeiten machen war ein Ziel.“ Nach zwei Jahren Studium der Geophysik in Kiel folgte Arne Traulsen seiner damaligen Freundin, die aus dem Nachbarort

stammt, nach Leipzig. Sie studierte dort Tiermedizin. Inzwischen sind die beiden seit über 30 Jahren ein Paar. „Mitte der 1990er-Jahre nach Leipzig zu gehen war spannend für uns und auch ein Kulturschock. In meinem Studienjahrgang war ich der einzige Wessi“, erinnert sich Traulsen. „Die Menschen besaßen eine so ganz andere Lebensgeschichte und Prägung.“ Sein Nebenjob beim sächsischen Landesamt für Archäologie stieß deshalb bei manchen auf Unverständnis: „Glaubst du, das interessiert sechs Millionen Arbeitslose, wie die Mauern des Klosters hier früher mal ausgesehen haben?“ Auch an der Uni war Arne Traulsen damals als Westdeutscher ein Exot – ein Gefühl, das ihn im Leben immer wieder beschlichen hat, sei es als Physiker in



Auch auf Abteilungs-  
fotos ist Arne  
Traulsen nicht gern  
der Mittelpunkt.  
Für ihn ist die Mann-  
schaft der Star.

deren Auswirkungen sich deshalb nicht langfristig vorhersagen lassen. Das ist ein Gebiet, auf dem wir noch viel Neues lernen können.“ Er konzentrierte sich daher zunehmend auf die theoretische Physik, zog dann nach einem Auslandssemester in Schweden, dem Diplom und einem Stipendium in der Tasche zurück in den Norden, um in Kiel zu promovieren. „Leipzig ist ja Süddeutschland, und mir wurden diese heißen und dunklen Sommer einfach zu viel.“

In seiner Doktorarbeit analysierte er Systeme, deren Elemente voneinander lernen. „Ich wollte herausfinden, wie Kooperation entstehen kann.“ Ein weit verbreitetes Modellsystem dafür ist das sogenannte Gefangenendilemma aus der Spieltheorie. In solchen Dilemmata stehen sich zwei Parteien gegenüber, die von der Kooperation des Gegenübers profitieren. „Für dieses Dilemma gab es damals ein bestimmtes Computermodell, das ich nicht ganz überzeugend fand“, erinnert sich der Forscher. „Man ging davon aus, dass Parteien immer dann kooperieren, wenn sie sich ähnlich sind. Mit dieser Annahme gibt es niemanden, der völlig unkooperativ ist – und das hat erhebliche Konsequenzen für

47

## „Wie kann Kooperation entstehen?“

der Biologie oder als nicht allzu ambitionierter Postdoc zwischen den ehrgeizigen Studierenden an der Elite-Universität Harvard. Physikbücher aus der Universitätsbibliothek in Leipzig auszuleihen war eine besondere Herausforderung. Einige wichtige Bücher gab es nur auf Russisch. Und zu einem Buch, das er haben wollte, sagte die Bibliothekarin: „Kriegen Sie nicht, verstehen Sie nicht. Da müssen Sie erst mal das hier ausleihen.“ Heute zuckt Traulsen mit den Schultern. „Was soll ich sagen? Sie hatte recht!“

Im Studium begeisterte sich Traulsen mit der Zeit immer mehr für komplexe Systeme. „Ich interessiere mich mehr für die chaotischen Vorgänge in unserer Umwelt – also die, die nicht linear ablaufen und

die Dynamik des Modells.“ Der Forscher entwickelte in seiner ersten Publikation ein deutlich einfacher lösbares Modell, das die wesentlichen Aspekte der komplexen Simulation erfasst und die Schwächen des Modells besser greifbar macht. Nach der Promotion wollte Traulsen nur noch eine begrenzte Zeit in der Wissenschaft bleiben und dann in die Industrie gehen. „Während der Doktorarbeit habe ich manchmal wochenlang in meinem Büro gesessen. Es gab kaum jemanden, mit dem man sich unterhalten konnte. Mir fehlte der Austausch mit anderen Menschen, wie er in Unternehmen ja selbstverständlich ist.“ Zunächst bewarb er sich aber für einen Forschungsaufenthalt beim österreichischen Mathematiker und Biologen Martin Nowak, der zu der Zeit in Harvard zu Evolutionsdynamiken forschte. „In Harvard geben sich die Stars der Wissenschaftsszene die Klinke in die Hand. Und trotzdem bekam jemand wie ich von einer kleinen deutschen Universität einen Schreib-

→

tisch und ein Türschild, und ich konnte mir aussuchen, zu welchem Thema ich arbeiten wollte.“ Also bewarb er sich wieder um ein Stipendium und zog nach einer kurzen Zwischenstation in der freien Wirtschaft als Postdoc in die USA, wo seine Frau in einem Biotech-Unternehmen tätig war. Dort kam auch ihr erstes Kind zur Welt. In den zwei Jahren in Harvard entwarf er unter anderem Modelle zur Dynamik von Krebserkrankungen. An über 20 wissenschaftlichen Publikationen war er in dieser Zeit beteiligt, und der Plan, die Wissenschaft zu verlassen, trat etwas in den Hintergrund. Im Anschluss bewarb er sich für das Emmy Noether-Programm der Deutschen Forschungsgemeinschaft und kehrte 2007 in die Heimat zurück. Am Max-Planck-Institut für Evolutionsbiologie war er damals der einzige Physiker, und noch dazu ein Theoretiker, unter lauter Biologen. Nachdem er sieben Jahre lang eine Forschungsgruppe am Institut geleitet hatte, wurde er 2014 mit 38 Jahren zum Direktor. „Ein bisschen verblüfft mich dieser Schritt noch immer.“

Traulsen und sein Team nutzen Methoden aus Physik und Mathematik, um grundlegende Abläufe des Lebens aufzuklären. „Bislang stößt die Evolutionsbiologie in Deutschland häufig noch an die Grenzen zwischen Fachgebieten. Wer hierzulande etwa Mathematik studiert, beschäftigt sich später mit mathematischen Problemen oder arbeitet zumindest an einem mathematischen Institut. Das Poten-

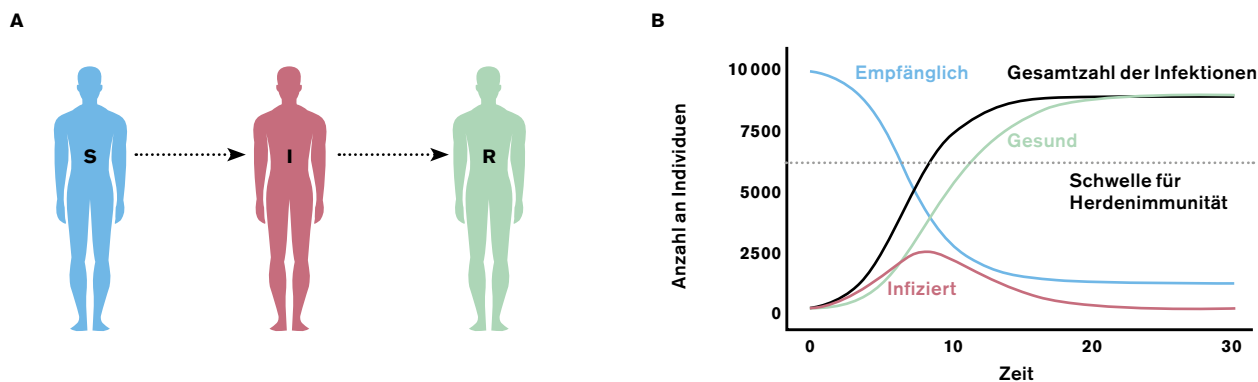
und mit einfachen Methoden fundamentale Sachverhalte beleuchten.“ Als Beispiel nennt er die Forschung von Yuriy Pichugin, eines Postdocs aus seinem Team, der untersucht, unter welchen Bedingungen Einzelzellen nach der Zellteilung in Verbänden zusammenbleiben. Als Grund dafür wird häufig angeführt, dass die Zellen davon profitieren, wenn sie kooperieren. Aber tatsächlich ist das gar nicht die Voraussetzung dafür, dass zwei Zellen nach einer Zellteilung erst einmal zusammenbleiben. Mit einem theoretischen Modell konnte Pichugin zeigen, dass es Grundsätze gibt, wann die Wachstumsrate einer solchen Population maximal ist: Wenn sich ein Zellhaufen zum Beispiel teilt, sobald er aus zwölf Zellen besteht, können dabei unterschiedlich viele Zellverbände entstehen: beispielsweise zwölf Einzelzellen, drei Gruppen von jeweils vier Zellen oder Gruppen mit sieben, drei und zwei Zellen. Das Modell zeigt, dass eine Teilung in genau zwei und nicht in zwölf oder drei Teile das Wachstum der Population maximiert, egal wie hoch die Wachstumsraten der Zellhaufen verschiedener Größen sind.

„Im Idealfall liefert mir ein Modell genau die Resultate, die ich auch im realen Leben vorfinde. Dies ist aber meistens nicht der Fall. Dann muss ich das Modell hinterfragen und mir überlegen, was in der Realität anders ist als in der Theorie“, erläutert Traulsen das Vorgehen. Auf diese Weise können die Forschenden

## **„Letztlich kann man das auf der Rückseite eines Kassenbons ausrechnen und dennoch etwas über fundamentale Prinzipien der Verbreitung von Krankheiten lernen.“**

zial der Mathematik bleibt so in anderen Fachbereichen ungenutzt.“ Anders in Plön: Arne Traulsen bringt bewusst Menschen aus Informatik, Biologie, Mathematik und anderen Disziplinen zusammen. Nach ihrer Zeit in seiner Abteilung wechseln sie dann an andere Institute und geben dort ihr Wissen weiter. „Eine ganze Reihe meiner Ehemaligen haben inzwischen Professuren an den unterschiedlichsten Fakultäten, von Ökonomie und Informatik bis zur Biologie und Physik.“ Was Arne Traulsen an theoretischen Modellen so fasziniert? „Sie liefern schnell grundlegende Erkenntnisse. Außerdem können sie sehr ästhetisch sein, wenn sie lösbar sind

ihre Modelle optimieren und gewinnen dabei fast immer neue Erkenntnisse. Etwa das sogenannte SIR-Modell aus der Epidemiologie: Es unterteilt eine virtuelle Personengruppe in Susceptible (empfindliche), Infected (infizierte) und Recovered (genesene) Individuen und berechnet, wie sich ein Krankheitserreger in der Gruppe ausbreitet. „Das Schöne ist, dass eigentlich jeder unsere Modelle verstehen kann, denn wir müssen sie mit nur ganz wenigen Parametern füttern. Letztlich kann man das auf der Rückseite eines Kassenbons ausrechnen und dennoch etwas über fundamentale Prinzipien der Verbreitung von Krankheiten lernen.“ Während der



### SIR-Modell einer Infektion:

(A) Empfängliche Individuen (S) stecken sich mit einem Erreger an und werden nach und nach zu Infizierten (I). Mit der Zeit genesen immer mehr Individuen und werden so zu gesunden (R) und damit resistenten Individuen.

(B) Am Beginn einer Infektion steigen die Zahlen der Infizierten sowie die der Genesenen. Die Anzahl der empfänglichen Individuen nimmt folglich ab. Sobald es mehr Genesene als Empfängliche gibt, sinkt die Zahl der Infizierten. Dann ist die Schwelle für die Herdenimmunität erreicht. Zu diesem Zeitpunkt steckt jedes infizierte Individuum im Durchschnitt weniger als ein weiteres an. Dadurch schreitet die Epidemie langsamer voran.

Corona-Pandemie half diese Art von Modellen zu erkennen, wie sich die Zahl der Infektionen entwickeln würde. Für die Politik erstellten Arne Traulsen und seine Kollegen so unter anderem eine Vorhersage, unter welchen Bedingungen wie viele Krankenhausbetten in den nächsten Wochen belegt sein würden. „In der Pandemie sind viele aussagekräftige Modelle entstanden. Eigentlich hätten sie mehr Aufmerksamkeit für den Wert der theoretischen Biologie schaffen können. Häufig kam aber der Einwand, dass das ja nur theoretische Modelle seien, die nichts mit der Realität zu tun hätten“, beklagt Traulsen. Zwar stimmt es, dass Modellrechnungen nur dann verlässliche Prognosen liefern, wenn die Zahlen, mit denen sie gefüttert werden, korrekt sind. Trotzdem lassen sich mit ihrer Hilfe Muster erkennen. „Bei unserer Forschung geht es nicht darum, exakt vorherzusagen, ob ein Parameter um zehn oder um 20 Prozent ansteigen wird. Wir wollen vielmehr grundlegende Zusammenhänge aufdecken.“ So hat Arne Traulsen's Gruppe mithilfe einfacher Modelle in den vergangenen Jahren auch gezeigt, dass bestimmte Mutationen von Stammzellen, die Blutkrebs auslösen können, aber keinen unmittelbaren Selektionsvorteil haben, von selber wieder verschwinden können. „Daraus folgt, dass nach drei bis fünf Jahren Therapie etwa die Hälfte der von diesem Krebs Betroffenen geheilt sein müsste. Die Ergebnisse aus unserem Modell haben sich mittlerweile auch in unabhängig davon durchgeführten klinischen Studien bestätigt.“

Theoretische Modelle haben also praktischen Nutzen.

Deshalb plädiert Arne Traulsen für einen Kulturwandel: Forschende würden enorm davon profitieren, wenn sie künftig nicht nur mit Statistikern, sondern auch mit Modellierern reden, bevor sie ein Experiment planen. Ein solcher Austausch ist in der Physik üblich, aber dort ist er auch fest in der Ausbildung verankert. Dieser Ansatz würde aber auch in anderen Disziplinen bei der Konzeption von Studien und Experimenten helfen und Hinweise darüber geben, wie verlässlich die zugrunde liegenden Annahmen sind. Für sein Team in Plön wünscht er sich vor allem eines: soziale Nachhaltigkeit. „Unser Institut ist eine Art gallisches Dorf: Jeder kennt jeden, man macht sich gegenseitig keine Konkurrenz, und es gibt keine Ellenbogenmentalität. Diesen Geist aufrechtzuerhalten ist mir das Wichtigste, denn am Ende ist Forschung Teamarbeit.“ Ein ehemaliger Kollege hat einmal über seine Zeit am Plöner Institut geschrieben, dass er sich noch nie an einem Ort so willkommen gefühlt habe wie in Plön. „Ich kann eine solche Atmosphäre aber nicht schaffen. Sie ist vielmehr ein Verdienst aller“, so Traulsen. In der Wissenschaft ist es also wie im Leben: Mit Kooperation geht vieles leichter. „Man kann einfach mehr erreichen, wenn die Gruppe mitzieht und möglichst viele unterschiedliche Perspektiven und Fähigkeiten einbringt. Deshalb ist es mir auch so wichtig, dass die Menschen in meinem Team Dinge können, die ich selbst nicht beherrsche – und davon gibt es eine Menge.“

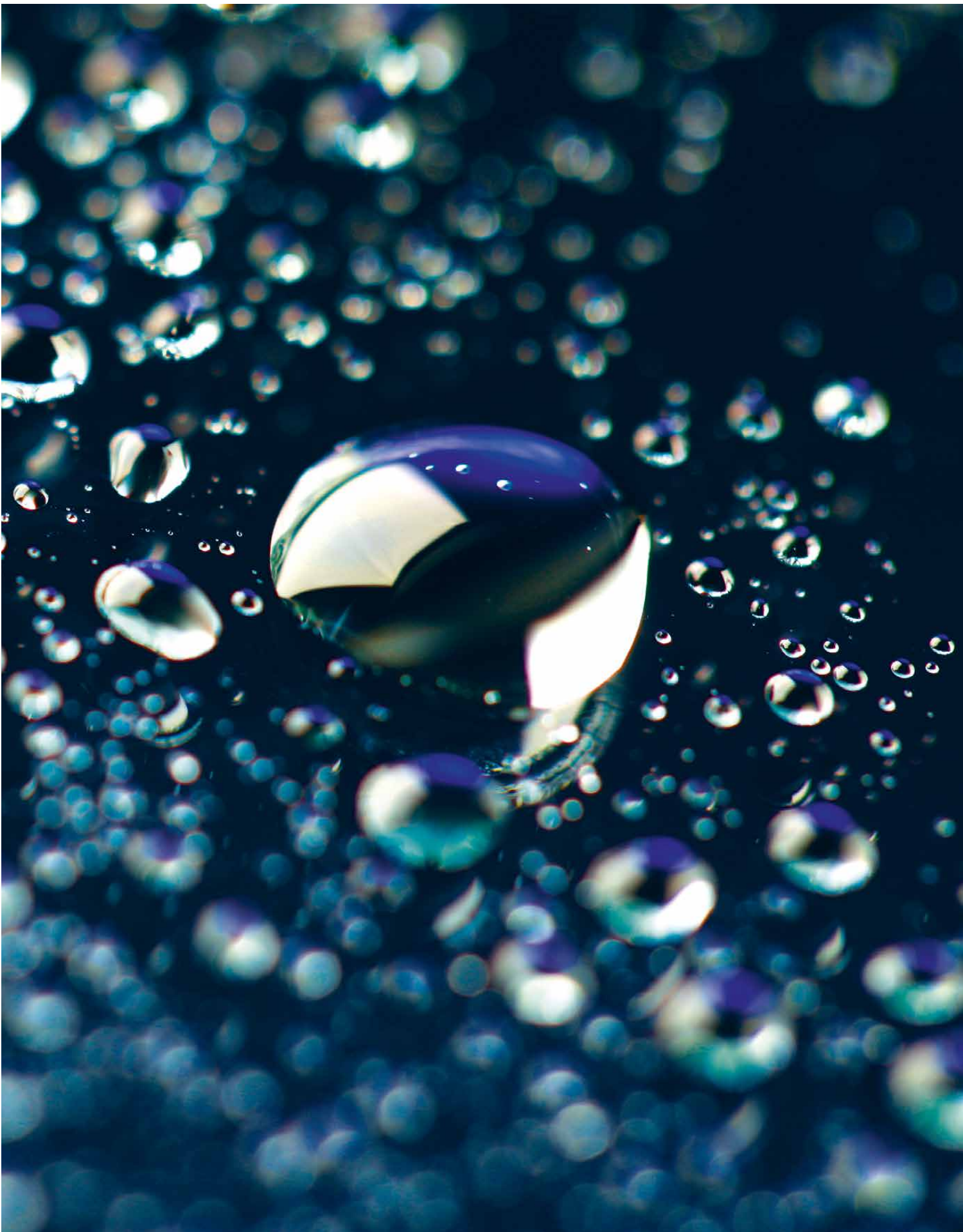


BILD: ISTOCKPHOTO

# ZWEITER BLICK

MAX-PLANCK-INSTITUT FÜR  
POLYMERFORSCHUNG

Spannende Spur: Ein Wassertropfen, der etwa eine kunststoffbeschichtete Oberfläche herunterrinnt, hinterlässt ein für das menschliche Auge unsichtbares Muster elektrischer Ladungen (siehe *MaxPlanckForschung* 3/23).

Ein Max-Planck-Team macht dieses Muster mit einem Rasterkraftmikroskop sichtbar (rechtes Bild). Die Aufnahme zeigt einen Ausschnitt mit wenigen Mikrometern Seitenlänge und gibt die

Ladungsverteilung auf der glatten und völlig makellosen Oberfläche hinter einem einzigen weggerutschten Tropfen wieder. Stellen mit hoher Ladung erscheinen rot, kaum geladene violett.

Wie das Muster aus Kreisen und Linien entsteht, untersucht das Team noch. Die Ladungsspur von Tropfen könnte etwa dazu dienen, tropfenförmige Proben über einen Mikrochip zu manövrieren, um sie dort biochemisch zu analysieren.

51

# POTZ BLITZ!

TEXT: ALEXANDER STIRN

52

Es gibt Blitze, gegen die hilft kein Blitzableiter. Sie kommen aus den Tiefen des Alls und setzen im Extremfall innerhalb von Millisekunden so viel Energie frei, wie die Sonne in einem ganzen Jahr. Eine Gefahr für die Menschheit besteht nicht, diese Fast Radio Bursts sind weit genug entfernt. Trotzdem wollen Astronominnen und Astronomen wissen, was diese Radiolichtblitze verursacht. Am Max-Planck-Institut für Radioastronomie kommen die Arbeitsgruppen um Laura Spitler und Michael Kramer des Rätsels Lösung immer näher. Auch Raum-Zeit-Erschütterungen könnten etwas damit zu tun haben, glaubt James Lough vom Max-Planck-Institut für Gravitationsphysik.

Der Blitz kam, man muss es so sagen, aus heiterem Himmel. Extrem hell, extrem kurz, vor allem extrem unerwartet. Der britische Astrophysiker Duncan Lorimer und sein Student David Narkevic entdeckten ihn, als sie 2007 in Archivdaten des australischen Parkes-Radioteleskops kram-

ten. Dabei fiel ihnen ein Signal auf, das sie sich nicht erklären konnten: Was war das? Ein neues, bislang unbekanntes kosmologisches Phänomen, eine Sensation? Oder doch ein Messfehler, ein menschengemachtes Signal, das versehentlich aufgezeichnet worden war?

Offenbar nicht, denn weitere Radioblitze folgen – manche ähnlich, manche andersartig, manche sogar wiederkehrend. Auf den ersten Blick werfen sie mehr Fragen auf, als dass sie Antworten oder gar Hinweise auf eine mögliche Quelle liefern. Eine astronomische Detektivarbeit beginnt. Heute, fast zwei Jahrzehnte später, sind viele dieser Fragen gelöst, wenn auch längst noch nicht alle. Neue Teleskope, ein Blick für die physikalischen Details und geradezu forensische Neugier haben es möglich gemacht. Die Spur führt dabei zu einigen der extremsten Phänomene im Universum – und sie könnte helfen, den Kosmos und seine Mysterien künftig etwas besser zu verstehen.

„Schnelle Radioblitze“ nennt sich das Phänomen, oder auf Englisch: Fast

Radio Bursts, kurz FRBs. Das „schnell“ bezieht sich dabei auf die Dauer der Blitze: Die Signale, die von scheinbar zufälligen Positionen am Himmel kommen, blitzen nur einige Tausendstelsekunden lang auf – weit weniger als ein Wimpernschlag. Trotzdem setzen sie in dieser kurzen Zeit im Schnitt so viel Energie frei, wie unsere Sonne im Verlauf mehrerer Tage. Seit der Entdeckung des ersten FRB vor fast 20 Jahren sind nicht nur viele Tausend weitere FRBs gesichtet worden, die schnellen Radioblitze haben sich auch als eines der hartnäckigsten Rätsel der Astronomie erwiesen.

„Es gab Zeiten, da hatten wir mehr Theorien zur Entstehung der FRBs als Blitze selbst“, sagt Michael Kramer, Direktor am Max-Planck-Institut für Radioastronomie in Bonn. Verdampfende Schwarze Löcher waren in der Diskussion, genauso wie explodierende Sterne oder oszillierende kosmische Strings – Defekte im Raum, die bislang allenfalls in reichlich spekulativen Theorien existieren. Selbst außerirdische Zivilisationen gerieten in Verdacht. Oder waren es doch

—>

ILLUSTRATION: ESO

# WISSEN AUS

PHYSIK & ASTRONOMIE

Schwer wie ein Stern,  
klein wie eine Großstadt:  
Magnetare, wie hier in einer  
künstlerischen Darstellung  
gezeigt, sind Sternleichen  
mit einem Magnetfeld,  
Milliarden Mal stärker als  
der stärkste Magnet auf  
der Erde. Diese extremen  
Bedingungen lassen sie  
vom Radio- bis in den  
Gammabereich erstrahlen.

53

menschliche Radiosignale, Handys oder gar die Mikrowelle in der Teeküche des Parkes-Teleskops? „Lange Zeit war tatsächlich nicht klar, ob die Radioblitzte ein natürliches Signal sind oder eine menschengemachte Störung“, sagt Kramer.

Licht ins Dunkel der Blitze hat Laura Spitler gebracht. Der gebürtigen Amerikanerin, seit sechs Jahren Forschungsgruppenleiterin am Bonner Max-Planck-Institut, gelang im August 2014 eine aufsehenerregende Entdeckung. In Archivdaten des Arecibo-Teleskops, einer Radioschüssel mit 305 Meter Durchmesser in Puerto Rico, stieß Spitler auf einen zuvor unentdeckten Radioblitz; es war der erste Fund mit einem anderen Radioteleskop als dem australischen Parkes-Teleskop. „Die Eigenschaften dieses FRBs und auch des ersten Lorimer-Bursts deuteten auf astrophysikalische Signale hin und nicht auf irgendwelche merkwürdigen, von Menschen verursachte Störungen“, sagt Spitler. Der Mensch hatte offenbar nichts mit dem Strahlungsblitz zu tun, und die Mikrowelle am Parkes-Observatorium war rehabilitiert.

Doch Spitler und ihr Team beließen es nicht dabei. Zwei Jahre später entdeckten sie zehn weitere Radioblitzte aus genau derselben Richtung. Der erste Wiederholungstäter unter den

FRBs war identifiziert. „Der Fund dieses Repeaters, auch Spitler-Burst genannt, war sehr wichtig, da kosmische Explosionen damals das vorherrschende Modell zur Erklärung von FRBs waren“, sagt Michael Kramer. Explodiert ein Stern, kann er jedoch schwerlich weitere zehn Male explodieren und jedes Mal einen Radioblitz erzeugen. Was aber war dann die Ursache der schnellen, hellen Phänomene?

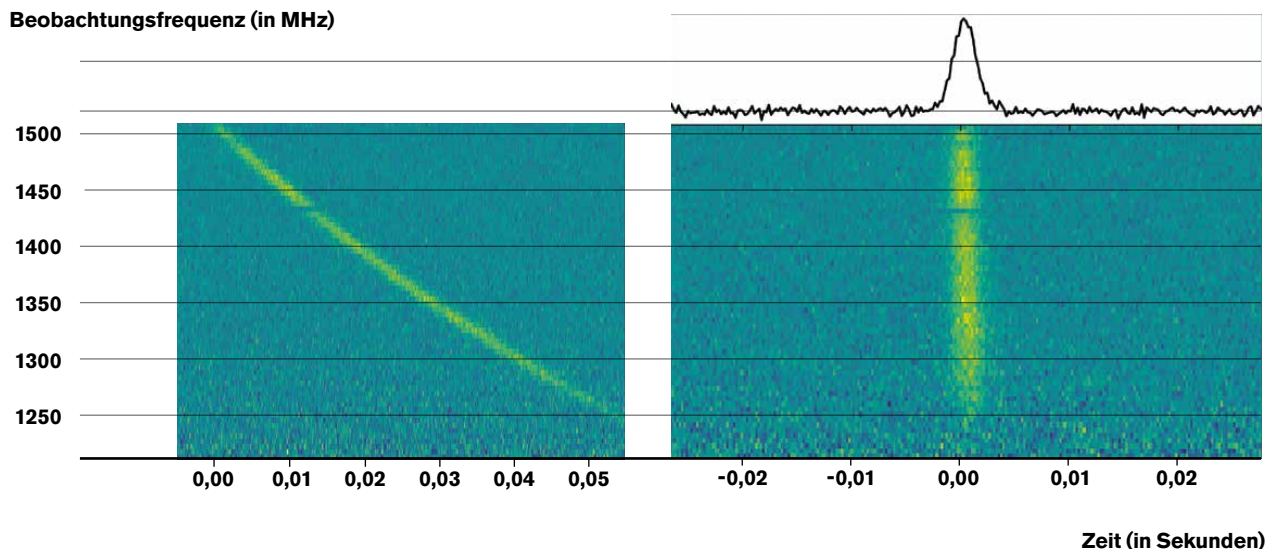
## Wiederkehrende, extreme Radiopulse

Die Pulse sind zwar kurz und entspringen aus den Tiefen des Alls, dennoch können sie einiges über ihre Quelle verraten. Die Forschenden müssen nur genau hinschauen, und sie müssen die Gesetze der Physik anwenden. Denn viele Eigenschaften sind – fast wie Fingerabdrücke – in die Radioblitzte eingegraben. Breiten sich elektromagnetische Signale im Universum aus, dann reagieren sie unweigerlich mit den geladenen Teilchen, die selbst im vermeintlichen Vakuum des Weltalls noch anzutreffen sind, und werden von ihnen abgebremst. Radiolicht bei niedrigeren Frequenzen erreicht die Radioteleskope stärker verzögert als solches bei höheren Frequenzen. Je stärker dieser Effekt, in der Physik

Dispersion genannt, desto größer die Distanz der astronomischen Quelle. Der Spitler-Burst, offizieller Name: FRB 121102, ist laut unabhängigen Messungen gut drei Milliarden Lichtjahre von der Erde entfernt und liegt damit außerhalb unserer eigenen Galaxie, der Milchstraße. Dies ist der Beweis dafür, dass das Signal des Repeaters aus den Tiefen des Alls kommt.

Da FRB 121102 durch die wiederkehrenden Blitze ein ums andere Mal seinen Aufenthaltsort verrät, war es zudem möglich, weitere Observatorien – unter anderem ein Verbund aus Teleskopen, die fast über den ganzen Globus verteilt sind – auf die Ursprungsregion auszurichten. Wenn weit voneinander entfernte Teleskope zusammengeschaltet werden, können sie Objekte sehr detailliert abbilden. Dadurch gelang es, den Herkunftsort der Radioblitzte detailliert zu bestimmen.

Der Spitler-Burst *FRB 121102*, wie ihn das 100-Meter-Radioteleskop in Effelsberg im Jahr 2017 eingefangen hat. Der Puls dauerte nur wenige Millisekunden, zieht sich aber wie ein Kaugummi durch das Radiofrequenz-Spektrum. Auf seiner Reise durchs All reagiert das Licht mit geladenen Teilchen und verzögert sich zu niedrigen Frequenzen hin. Rechts wurde dieser Effekt herausgerechnet..



„Das war das erste Mal, dass ein FRB lokalisiert werden konnte“, sagt Laura Spitler, „und zwar nicht nur auf einer Galaxie, sondern sogar auf einer sehr dynamischen Region innerhalb dieser Galaxie, in der neue Sterne gebildet werden.“

Doch was bedeutet das alles? Noch sind es nur Indizien, doch sie weisen auf einen Verdächtigen hin, der zu einem der extremsten Phänomene im an Überraschungen nicht armen galaktischen Zoo gehört: auf einen Magnetar. Haucht ein junger Stern, der etwa zehn oder 20 Mal so massereich ist wie unsere Sonne, sein Leben in einer Supernova-Explosion aus, kollabiert gleichzeitig der Kern. Dieser zieht sich so stark zusammen, dass fast alle Atome zerquetscht werden. Übrig bleibt ein Haufen aus Neutronen, aus elektrisch neutralen Teilchen. Die gesamte Masse dieses sogenannten Neutronensterns und große Teile des ursprünglichen stellaren Magnetfelds konzentrieren sich auf eine Kugel mit einem Durchmesser von etwa 20 Kilometern. Könnte man einen Kaffeelöffel dieser Materie auf eine irdische Waage legen, würde das Gerät mehr als 100 Millionen Tonnen anzeigen.

Es geht aber noch extremer. Einige Neutronensterne verfügen über ein außergewöhnlich starkes Magnetfeld. Ob dieses starke Feld bereits bei den ursprünglichen Sternen vorhanden war oder durch eine Art Dynamo im kollabierenden Neutronenstern produziert wird, konnte bislang nicht geklärt werden. Klar ist allerdings: Das Magnetfeld ist gigantisch. Ein durchschnittlicher Magnetar besitzt ein Magnetfeld mit einer Stärke von etwa 100 Milliarden Tesla. Zum Vergleich: Das Erdmagnetfeld bringt es in Mitteleuropa auf 0,00005 Tesla, und der stärkste Magnet, den die Menschheit bislang gebaut hat, erreichte rund 100 Tesla (bevor die magnetischen Kräfte derart unbeherrschbar wurden, dass er sich selbst zerstörte). „Magnetare sind die am stärksten magnetisierten Objekte im Universum, die wir kennen“, sagt Max-Planck-Direktor Kramer.

Dieses Magnetfeld ist auch dafür verantwortlich, dass sich Magnetare in den Weiten des Kosmos nicht verste-

cken können. Befeuert von der Energie des magnetischen Feldes, schleudern die Himmelskörper wie Leuchttürme entlang schmaler Lichtkegel Unmengen an Röntgen- und Gammastrahlung ins All, die je nachdem, wie der sich drehende Magnetar im Raum orientiert liegt, über die Erde fegen. Eine Handvoll der etwa 30 bekannten Magnetare senden zudem Radiosignale aus. Als Astronominnen und Astronomen im April 2020 einen

## AUF DEN PUNKT GEBRACHT

Der Ursprung schneller und energiereicher Radioblitzte war lange Zeit ein Rätsel. Unabhängige Messungen schlossen auf ein Signal aus dem Weltall.

Solche Radioblitzte, die sich regelmäßig wiederholen, lassen auf Magnetare, extrem magnetisierte Sternleichen mit extrem hoher Massedichte, schließen. Aber nicht alle Blitze müssen dieser Erklärung folgen.

Der Zusammenhang der Blitze mit Magnetaren ließe sich direkt nachweisen, wenn ein Magnetar sowohl Gravitationswellen als auch einen Radiostrahlenausbruch erzeugt, die beide in einem Sternbeben begründet liegen könnten.

Magnetar in der Milchstraße beobachteten, registrierten sie sogar zwei Radioblitzte ganz kurz hintereinander. Hatte ein Magnetar tatsächlich FRBs produziert? Die Beweise scheinen erdrückend: „Schaut man sich diesen Puls an und legt andere FRB-Signale daneben, kann man nicht wirklich einen Unterschied erkennen“, sagt Kramer.

Also, Fall gelöst? Michael Kramer ist zurückhaltend: „Ich würde sagen, das Urteil ist noch nicht gefällt, auch wenn es viele Verdachtsmomente gibt.“ Insbesondere die vergleichsweise geringe Leuchtkraft des FRBs aus der Milchstraße lässt den Radio-

astronomen zweifeln. Sie beträgt nur ein Hundertstel, maximal ein Zehntel der typischen Energie, die bislang bei Radioblitzten registriert worden ist, die von jenseits der Milchstraße auf die Erde trafen.

## Magnetare unter Verdacht

Kramer fordert daher weitere Beweise. „Ein Killerargument, das für Magnetare als Auslöser sprechen würde, wäre für mich, wenn wir bei FRBs Anzeichen für eine Rotation der Quelle beobachten könnten.“ Die besten Verdachtsfälle wären die FRBs, die zur Klasse der Repeater zählen, also regelmäßige Radioblitzte aussenden – im Fall des Spitler-Bursts immerhin alle 157 Tage. Das ist viel länger, als Magnetare für eine Drehung um die eigene Achse brauchen, nämlich nur einige Sekunden. Vielleicht spielt diese Rotation der Sternleiche weniger eine Rolle als die Kreiselbewegung, genauer: Präzession, der Rotationsachse selbst. Damit könnte es tatsächlich über 100 Tage dauern, bis der Ort im Magnetfeld des Magnetars, dem die extrem energiereiche Radiostrahlung entspringt, in die Sichtlinie des Radioteleskops hineintaumelt. Denkbar wäre auch, dass der Magnetar und ein Riesenstern einen gemeinsamen Schwerpunkt umkreisen – womöglich einmal in 157 Tagen – und der Magnetar einmal pro Umlauf durch den massiven Sternenwind seines Begleiters streift. Eindeutig kann die Verbindung zwischen Magnetaren und FRBs aber nicht gezogen werden. Noch nicht. „Bis dahin sind Magnetare als Auslöser eine gute Theorie, die beste, die wir haben“, sagt Kramer. „Ich glaube, dass vieles dafür spricht, dass vor allem die Repeater Magnetare sind.“ Was es mit den Einzeltätern der FRBs auf sich hat, ist eher noch unklar.

Das gut 300 Meter große Arecibo-Teleskop, mit dem Laura Spitler vor gut zehn Jahren ihren FRB entdeckt hatte, steht für eine entsprechende Fahndung allerdings nicht mehr zur Verfügung. Es ist teilweise kollabiert,



nachdem mehrere Stahlseile aufgrund mangelhafter Wartung gerissen waren. Kramer blickt aber bereits nach China. Dort hat fast zeitgleich ein neues, riesiges Radioteleskop mit einem Durchmesser von rund 500 Metern den wissenschaftlichen Betrieb aufgenommen: *FAST*, das *Five-hundred-meter Aperture Spherical radio Telescope*. „Wir arbeiten sehr gut und sehr gerne mit unseren chinesischen Kollegen zusammen, die Daten von FAST bereichern die Forschung auf beiden Seiten“, sagt Kramer. „Das Teleskop hat eine unglaubliche Empfindlichkeit und damit den Verlust von Arecibo mehr als kompensiert.“

## Wenn Sternbeben den Raum erzittern lassen

Zudem steht den Astronominen und Astronomen mit dem Radioobservatorium Effelsberg, südlich von Bonn, ein weiteres mächtiges Werkzeug zur Verfügung. Das Teleskop in der Eifel, das vom Bonner Max-Planck-Institut betrieben wird, hat einen Durchmesser von 100 Metern. Anders als bei FAST lässt sich die Schüssel, größer als ein Fußballfeld, gezielt auf astronomische Objekte ausrichten. Ein neuer Empfänger, der einen noch größeren Bereich des Radiospektrums abdeckt, und eine neue Radiokamera, die deutlich mehr vom Himmel sieht, als es bisher möglich war, sollen den schnellen Radioblitzten künftig weitere Geheimnisse entlocken.

Zum Einsatz kommen aber auch ganz andere Arten von Teleskopen: Sarstedt, südlich von Hannover. Zwischen Apfelbäumen und landwirtschaftlichen Nutzflächen verlaufen zwei Schächte im Boden, fast rechtwinklig zueinander. Jeder der beiden ist 600 Meter lang. Geo600 heißt das Konstrukt. Mit seiner Hilfe will das Max-Planck-Institut für Gravitationsphysik in Hannover sogenannte Gravitationswellen nachweisen – Erschütterungen in Raum und Zeit, verursacht durch die Bewegung gigantischer Massen. Ein Laserstrahl wird dazu aufgespalten, in jeden der beiden Arme geschickt und an den

Enge Kooperation:  
Marlon Bause,  
Laura Spitler,  
Lorena Nicotera  
(von links) aus Spitlers  
Lise-Meitner-Gruppe  
sowie Ramesh  
Karuppusamy und  
Lucia Gebauer Werner  
aus Michael Kramers Ab-  
teilung Radioastronomi-  
sche Fundamentalphysik  
haben sich um  
ein Modell des  
100-Meter-Effelsberg-  
Teleskops versammelt.



Enden der Schächte reflektiert. Die zurückgeworfenen Lichtstrahlen überlagern sich im Kreuzungspunkt der Arme. Saust nun eine Gravitationswelle über die Erde, verändern sich die Längen der beiden Arme minimal, aber messbar – und mit ihnen das Überlagerungsmuster der Laserstrahlen.

Auch FRBs könnten mit Gravitationswellen zusammenhängen. Gerät ein Magnetar mit seiner enormen Massendichte in Schwingung, etwa wenn sich Spannungen in der Neutronensternkruste schlagartig entladen, löst das laut Einsteins Theorie Gravitationswellen aus. So ein gewaltiges Sternbeben würde aber auch das starke Magnetfeld des Sternüberrests

durchschütteln und könnte so zu einem kurzen, aber heftigen Strahlungsausbruch führen – einem FRB. Als im April 2020 der Magnetar im galaktischen Zentrum urplötzlich so einen Radioblitz aussandte, waren die meisten Gravitationswellendetektoren allerdings außer Betrieb – wegen Corona oder wegen geplanter Updates. Geo600 hingegen zeichnete weiter Daten auf, erzählt Chefwissenschaftler James Lough.

Vergangenes Jahr haben Forschende diese Daten noch einmal analysiert. Sie haben das unvermeidbare Rauschen der Gravitation herausgerechnet und gezielt nach Wellen gefährdet, die zeitgleich zu den FRBs aus der Milchstraße auftreten. Sie könn-



FOTO: CHRISTOPH SEELBACH / MPG

ten auf ein Beben und Zittern des Magnetars hindeuten. Gefunden haben sie bislang nichts, aber die Suche soll weitergehen. „Wenn jemand ein paar neue FRBs in unserer Galaxis auslösen könnte, wäre das großartig“, sagt Lough und lacht.

Doch auch die Forschung entwickelt sich weiter. Anders als vor zehn Jahren dreht sich für Laura Spitler nicht mehr alles darum, FRBs aufzuspüren und das physikalische Phänomen zu verstehen. Die schnellen Radioblitz werden zunehmend auch Mittel zum Zweck, um Rätsel der Kosmologie zu lösen. Auf ihrem Weg aus den Tiefen des Alls zu den irdischen Empfängern legen die Radiosignale viele Milliarden Lichtjahre zurück. Sie

durchstreifen dabei das sogenannte intergalaktische Medium, ein Gas zwischen den Galaxien. Zusammen mit dem gesamten Kosmos dehnt sich auch dieses Gas aus. Die Expansion, vor allem aber der Treiber dahinter, gehört zu den großen Rätseln der Kosmologie. Astronominnen und Astronomen haben für die mysteriöse Kraft daher den Begriff „Dunkle Energie“ geprägt – und sie tapen ziemlich im Dunkeln, was dahinterstecken könnte. „Wenn sich die Radioblitz durch das intergalaktische Medium bewegen, dann wird diese Expansion allerdings in ihr Signal eingebrannt“, sagt Laura Spitler. Die große Herausforderung besteht nun darin, die Information aus dem Blitz herauszubekommen. Ein oder

zwei FRBs werden dafür nicht reichen. Eine große Anzahl in unterschiedlichen Entfernungen – Theoretiker gehen von ungefähr 1000 benötigten FRBs aus – könnte allerdings helfen.

Und dann sind da noch all die Dinge, die die schnellen Radioblitz über ihre möglichen Quellen verraten. „Wir werden in irdischen Laboratorien niemals Materie erzeugen können, die auch nur annähernd so dicht ist wie die in Neutronensternen oder Magnetaren“, sagt Michael Kramer. Zustände, die so extrem sind, dass sie sich der direkten Forschung auf der Erde entziehen. Relativitätstheorie und Gravitationsphysik würden davon profitieren, aber auch Kern- und Plasmaphysik. „Will ich als Astronom verstehen, wie das Universum an sich funktioniert, dann kann ich das am besten erreichen, indem ich mir Extremzustände und die dabei vorherrschende Physik anschau“, sagt Michael Kramer. „Und es gibt kaum etwas, das extremer ist als Magnetare.“

←

57

## GLOSSAR

### FAST RADIO BURSTS

sind schnelle, wenige Millisekunden kurze und sehr energiereiche Radioblitz.

### MAGNETARE

sind Pulsare mit extrem starken und geordneten Magnetfeldern. Das Magnetfeld ist bipolar, wie auf der Erde. Pulsare sind Neutronensterne, also Sternüberreste mit der Masse eines Sterns und des Durchmessers einer Großstadt. Sie rotieren um eine Achse, die schräg zur Dipolachse des Magnetfelds steht. Ladungen, die entlang der Magnetfeldlinien spiralen, entsenden vor allem Radiostrahlung, die sich entlang der magnetischen Dipolachse bündelt.

Wie bei einem Leuchtturm fegt der Radiolichtkegel durch das All und, steht der Winkel richtig, auch über die Erde.

Idealbild: Viele Akteure sollten den digitalen öffentlichen Raum, den das Internet aufspannt, dezentral gestalten. Heute wird er dagegen von wenigen Tech-Unternehmen und ihren Plattformen beherrscht.

58



BILD (KI-GENERIERT): GESINE BORN / MIDJOURNEY; PROMPT: A DIORAMA SHOWING PEOPLE MAKING A TENSEGRITY OF RED WOOLEN CORDS, WHITE BACKGROUND --V 6.1 --S 50 --STYLE RAW

# SCHÖNE NEUE NETZWELT

TEXT: MICHAELA HUTTERER

Soziale Medien prägen unsere Debatten, Wahlen und Wahrnehmung. Während die einen nach strengeren Regeln rufen, wünschen sich andere weniger Vorschriften. Eine interdisziplinäre Gruppe untersucht, wie die EU den digitalen öffentlichen Raum reguliert, und fordert mehr Förderung von Vielfalt.

Seit über 150 Jahren gibt es ihn, diesen kleinen Ort im Freien, der allein der Debatte gehört. Gut erreichbar mit U-Bahn und Bus im nordöstlichen Teil des Londoner Hyde Parks, bietet Speaker's Corner einen geschützten Raum für Diskussionen aller Art, ob religiös oder politisch, einzig das Königshaus sei als Thema tabu, so heißt es. Meist sonntags treffen hier Menschen aufeinander, die in der Öffentlichkeit Debatten suchen, führen oder aber einfach nur mal vorbeischaun und weitergehen. Das unterscheidet sich nicht wesentlich von den Räumen, die wir über unsere Handys, Tablets oder Rechner betreten. Mit Facebook, X, Instagram, Tiktok oder anderen sozialen Medien haben sich in den Nullerjahren Räume für den

gegenseitigen Austausch gebildet, die supranational, allgegenwärtig, immer erreichbar sind – hierzulande offiziell für alle ab 13 Jahren.

Was wir kommentieren, was wir teilen, was wir behaupten, was wir richtigstellen – alles ist bedeutsam, nichts verpufft in den sozialen Medien, wo Plattformen via Technik unsere Debatten steuern können. Unsere Verweildauer im Digitalen ist längst eine Währung und unser Konsum Kern eines Geschäftsmodells für wenige Tech-Unternehmen und ihre Eigentümer. Im Zeitalter der Aufmerksamkeitsökonomie bieten sie den Zugang zu diesem digitalen öffentlichen Raum und setzen die Regeln.

„Dass sich digitale öffentliche Räume nahezu ausschließlich in privater Hand befinden, stellt Politik, Gesellschaft und Recht vor enorme Herausforderungen“, erklärt Erik Tuchtfield vom Max-Planck-Institut für ausländisches öffentliches Recht und Völkerrecht in Heidelberg. „Im physischen öffentlichen Raum ist der Staat verpflichtet, die für den politischen Diskurs zentralen Grundrechte wie

Meinungs- und Versammlungsfreiheit zu schützen und zu gewährleisten.“ Im Digitalen haben sich indes Strukturen entwickelt, in denen der Staat auf den Schutz von Grund- und Menschenrechten nur mittelbar einwirken kann und dennoch versucht, Betreiber in die Pflicht zu nehmen.

Für die Mitgliedstaaten der Europäischen Union gilt seit einem Jahr der Digital Services Act (DSA), der von manchen als „Grundgesetz für das Internet“ verstanden wird. Das Gesetz ist jedoch nicht unumstritten: Während einige sich strengere Verantwortung für die großen Plattformen gewünscht hätten, beklagen andere, dass die verstärkten Löschverpflichtungen „Zensur“ im Internet begünstigen. „Einzelheiten klärt dieses EU-Gesetz, aber nicht die grundlegende Frage zur Struktur des digitalen öffentlichen Raumes“, so Tuchtfield. Wie viel Staat, wie viel Kontrolle, wie viel Marktmacht und welche Debatte- und Kultur wollen Europäerinnen und Europäer im digitalen Raum?

Diese Fragen zu beantworten ist Tuchtfield ein Anliegen. Der Antrag auf



eine Forschungsgruppe mit diesem Ziel wurde nicht nur vom Direktor an seinem Institut, dem Europa- und Völkerrechtler Armin von Bogdandy, unterstützt, sondern auch von zwei weiteren Direktoren: dem Wettbewerbsrechtler Josef Drexler vom Max-Planck-Institut für Innovation und Wettbewerb sowie dem Sozialwissenschaftler und Informatiker Iyad Rahwan vom Max-Planck-Institut für Bildungsforschung. Der Antrag hatte Erfolg.

In der Forschungsgruppe „Humanet3“ denken und arbeiten mittlerweile vier Forschende interdisziplinär. Sie klären: Was passiert gerade technisch und gesellschaftlich, wie reagiert das Recht darauf, welchen Effekt hat es, und wenn es nicht geregelt ist, welche Regelung wäre sinnvoll? Sie analysieren Ist-Zustände, erkennen Missstände, finden Regelungslücken, bewerten die Konzentration von Macht und notieren deren Vakuum und überlegen Lösungen. „Jeder bringt seine Expertise ein: zum einen aus dem öffentlichen Recht, um über Grundrechte nachzudenken sowie über die

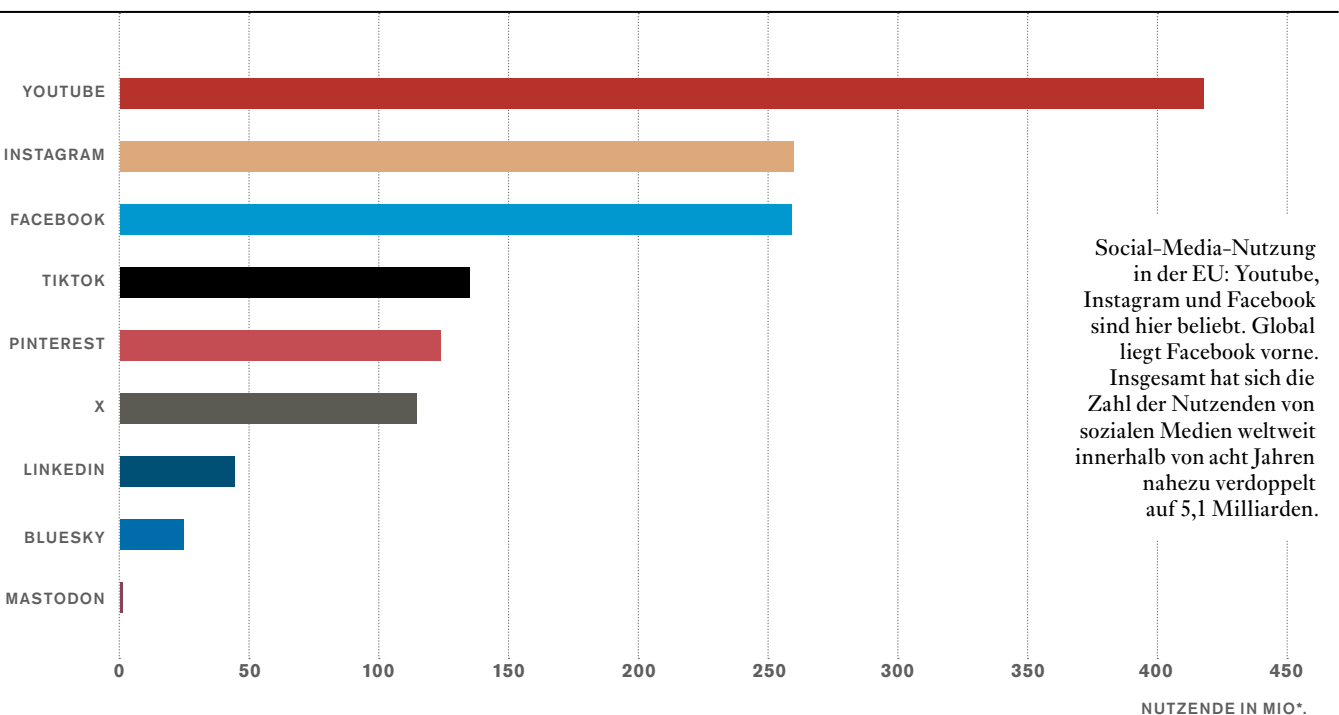
Aufgaben und Ziele von Gesetzgebung und staatlicher Aufsicht.“ Zum anderen brauche es das Wettbewerbsrecht, das sich originär mit privater Macht und Märkten beschäftigt. „Und wir nutzen computergestützte sozialwissenschaftliche Erkenntnisse, um besser zu verstehen, wie aktuelle Entwicklungen von künstlicher Intelligenz den digitalen Raum verändern“, sagt Tuchtfeld. Die Gruppe beschäftigt sich also mit nichts Geringerem als der Neugestaltung digitaler öffentlicher Räume.

## Neue Ideen für den digitalen Raum

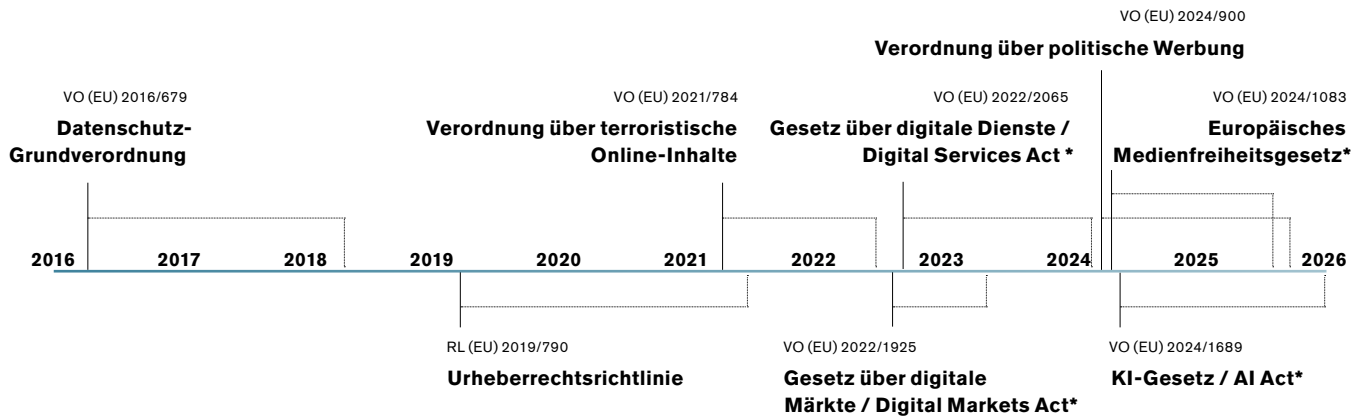
Doch vor der Neukonzeption kommt die Analyse des Ist-Zustands: Welche Phänomene begegnen Nutzenden, welche Regeln gelten für den digitalen Raum? „Nach der E-Commerce-Richtlinie im Jahr 2000 war es gesetzgeberisch für 15 Jahre recht ruhig, mit der Datenschutz-Grundverordnung im Jahr 2016 startete dann jedoch eine Welle an Reformen“, so Tuchtfeld und

verweist auf mindestens acht verschiedene EU-Gesetze, die die EU seit 2016 zur Gestaltung des digitalen öffentlichen Raumes erlassen hat. Sie reichen vom Datenschutzrecht über das Urheberrecht bis hin zur Plattformregulierung und bilden das Regelwerk für die digitale Welt – je nachdem, welcher Aspekt reguliert werden soll. „Die EU verfolgt den Ansatz, die digitale Transformation menschenzentriert zu gestalten“, sagt der Wissenschaftler und verweist auf die Europäische Erklärung zu den digitalen Rechten und Grundsätzen für die digitale Dekade, eine politische Absichtserklärung, die im Dezember 2022 verabschiedet wurde. Der Fokus liege darauf, die Gesellschaft und ihre Mitglieder im digitalen öffentlichen Raum zu schützen.

Tuchtfeld analysiert die Form und die Prinzipien der europäischen Regulierung: „Die EU gestaltet grundsätzlich die Architektur des digitalen öffentlichen Raums, aber sie stabilisiert indirekt auch die Macht privater Akteure als Gestalter des öffentlichen Raums. Sie schafft dabei mehr Frei-



QUELLE: EU UND EU USER REPORTS DER PLATTFORMEN, STAND 2024. LINKEDIN GIBT SEINE EINGELOGGTEN MITGLIEDER AN (LOGGED-IN ACTIVE USERS). MASTODON NENNT SEINE NUTZENDE WELTWEIT (QUELLE: STATISTA 2024) \*AVERAGE MONTHLY ACTIVE USERS IN MILLION



Viele Gesetze für den digitalen Raum: Die Zahl im Namen verrät, wann die Norm in Kraft trat. Durch Übergangsfristen wirken ihre Pflichten erst später. Die Datenschutz-Grundverordnung beispielsweise trat 2016 in Kraft, ihre Pflichten wirkten erst ab Mai 2018.  
VO = Verordnung, RL = Richtlinie \*Einzelne Bestimmungen gelten bereits früher.

heit für die Nutzenden, beispielsweise müssen die Plattformen transparenter werden und mehr Vielfalt gewährleisten. Die Union übt aber auch mittels der Plattformen Kontrolle über die Nutzenden aus. So verpflichtet das Unionsrecht die Plattformen zum Beispiel, die Inhalte der Nutzenden auf bestimmte Merkmale hin zu überwachen, bei Gesetzesverstößen zu löschen oder einzelne Rechtsverstöße durch Uploadfilter von vornherein zu verhindern.“ Der Graubereich in Debatten, der als „awful, but lawful“ gerade noch erlaubt ist, aber die Debatte gerade bei politischen Themen in negativer Weise prägt, liegt im Regelungsbereich der Plattformen. „Wenige mächtige Einzelpersonen, etwa Elon Musk als Eigentümer von X und Mark Zuckerberg mit Facebook und Instagram, entscheiden einseitig – und in Teilen willkürlich – über unsere digitalen öffentlichen Räume“, moniert Tuchtfeld. Ein Mitspracherecht für die Nutzenden: Fehlzanzeige. Diese mangelnde Legitimation bei gleichzeitiger Machtkonzentration ist ein Hauptproblem für die Gestaltung digitaler öffentlicher Räume. „Wir brauchen Strukturen der demokratischen Selbstverwaltung durch die Nutzenden, die gesetzliche Regeln konkretisieren und eigene Spielräume haben, gleichzeitig aber staatsfern

organisiert sind“, sagt Tuchtfeld. In Deutschland kenne man diese unter anderem von den Rundfunkräten, aber auch von berufsständischen Kammern, bei denen die Mitglieder abstimmen.

## Machtfülle und Machtvakuum

Einen anderen Aspekt dabei untersucht Germán Johannsen vom Max-Planck-Institut für Innovation und Wettbewerb in München. Als Wettbewerbsrechtler beobachtet er die Machtverhältnisse im Ökosystem der sozialen Medien und kennt die Forderungen nach Zerschlagung von Big-Tech, nach mehr oder weniger Regulierungen. Er setzt an einem anderen Punkt an und prüft, ob sich aus dem europäischen Wettbewerbsrecht nicht ein anderer Ansatzpunkt für eine Regulierung ergibt. Stichwort: Verteilungsgerechtigkeit. „Eine Gesellschaft, in der niemand übermäßige wirtschaftliche Macht besitzt, stellt sicher, dass kein privater Akteur etwa die politische Agenda einer Nation kontrollieren kann“, sagt Johannsen und sieht vor allem die Notwendigkeit für mehr Alternativen für Social-Media-Nutzende.

Braucht es also einfach neue Anbieter? Johannsen ist kritisch. „Um zu vermeiden, dass die aktuellen Technologiegiganten durch andere große, zentralisierte Unternehmen ersetzt werden, sollten wir Anreize für die Entstehung dezentraler Governance-Modelle im Ökosystem der sozialen Medien schaffen.“ Ein Beispiel ist etwa das dezentralisierte Microblogging-Netzwerk Mastodon. Es ist jedoch von grundlegender Bedeutung, über einen Regulierungsrahmen zu verfügen, der effektiv gleiche Wettbewerbsbedingungen gewährleistet. Entscheidend ist die Interoperabilität zwischen Plattformen, um den Austausch von Daten zu ermöglichen, die jeder Social-Media-Nutzende bei der ersten Registrierung gewährt und der Anbieter bei jedem Besuch sammelt: Freundschaften, Likes, Kommentare, Interessen oder anderes. „Einige große Plattformen kontrollieren nicht nur die Märkte für bestimmte Produkte, sondern auch Daten, einzelne Medien, teilweise sogar die Telekommunikationsinfrastruktur. Zudem sind sie Protagonisten im Wettlauf um die generative künstliche Intelligenz.“

Johannsen sieht die größte Schwierigkeit darin, etablierte neoliberale Überzeugungen zu überwinden, die das Wettbewerbsrecht und die Wirtschafts-

## AUF DEN PUNKT GEBRACHT

Der digitale öffentliche Raum und die Kommunikation darin werden von Plattformen wie Google, Youtube, X und Tiktok beherrscht. Der Digital Service Act und weitere EU-Gesetze regeln verschiedene Aspekte der digitalen Welt wie etwa den Datenschutz oder den Schutz von Urheberrechten.

Eine interdisziplinäre Max-Planck-Gruppe analysiert die aktuellen Strukturen und Regelungen des digitalen öffentlichen Raums und beschäftigt sich dabei auch mit der Machtverteilung.

Vor allem bei sozialen Medien besteht ein Bedarf an mehr Vielfalt sowie dezentralen und demokratisch organisierten Plattformen, damit die Macht gewinnorientierter Akteure reduziert werden kann.

62

politik prägen. Im EU-Wettbewerbsrecht gilt die Konzentration von Macht als solche nicht als zwingend schlecht, sondern lediglich ihr Missbrauch. „Kommt es zum Machtmissbrauch, haben sich die Instrumente des Rechts als langsam und ineffektiv erwiesen“, sagt der Experte. Für ihn begrenzen zwar neue EU-Gesetze, wie der Digital Markets Act und der Digital Services Act, die Macht der großen Plattformen, stellen aber keinen Paradigmenwechsel dar, der die Bedeutung digitaler öffentlicher Räume für Meinungsäußerungen und öffentliche Debatte ernst nimmt. Auch regulierte Plattformen haben nach wie vor erhebliche Möglichkeiten, den öffentlichen Diskurs und die Agenda des Gesetzgebers zu beeinflussen und die Forschung daran zu behindern. In dieser Hinsicht seien weitere Untersuchungen nötig.

Noch grundsätzlicher blickt Anna Sophia Tiedeke, Rechtswissenschaftlerin am Max-Planck-Institut für ausländisches öffentliches Recht und Völkerrecht, auf den digitalen Raum

und fragt: „Stellt uns die digitale Transformation tatsächlich vor völlig neue Herausforderungen?“ Nach ihrer Analyse erleben wir in Diskussionen über die adäquate Regulierung der digitalen Öffentlichkeit häufig lediglich eine Neuauflage von bereits geführten und ausdifferenzierten Debatten aus der analogen Welt. Unter dem Einfluss der aktuell tatsächlichen oder der zumindest gefühlten Bedrohung für demokratiefördernde Diskursräume würden Lösungen herbeigewünscht. Dabei setze man sich zu wenig mit der Frage auseinander, ob vermeintliche Lösungen tatsächlich helfen (können), dem Problem zu begegnen.

Ein Beispiel dafür sieht Tiedeke darin, dass sich die Debatte wieder Ideen wie der Habermas'schen „Theorie der idealen Sprechsituation“ zuwendet. Diese gilt für eine deliberative Demokratie als Idealbild, nach dem Sprechende von allen strukturellen Zwängen und Vorprägungen befreit rationale Argumente austauschen können. Hier werde laut Tiedeke ein Zustand heraufbeschworen, der in der Realität unmöglich zu erreichen sein wird und deshalb nur eine Scheinlösung darstellt, auch und gerade für digitale öffentliche Räume.

Denn wir leben längst in einer Welt, in der der analoge und der digitale Raum eng verflochten sind. Wer sich in der physischen Welt bewegt, nutzt Google Maps, um ans Ziel kommen, Sharing-Plattformen ermöglichen eine andere Form der Mobilität und der Nutzung öffentlicher Räume. Selbst die Speaker im Hyde Park lassen ihre Debatten filmen und stellen sie auf Youtube und anderswo für ein breiteres Publikum zur Diskussion ein und erweitern so die Möglichkeiten der physischen Öffentlichkeit – räumlich wie zeitlich. „Beide Räume sind ineinander verschränkt, sodass auch Lösungen diese Verschränkungen, die Architektur und Bedingungen des Zugangs und der Beteiligung berücksichtigen müssen“, sagt Tiedeke. Sie untersucht grundlegende Fragen des Zusammenspiels von Institutionen, wie etwa Staaten, internationalen Organisationen, Plattformunternehmen und privaten Selbstregulierungsgre-

mien wie Metas Oversight Board, und ihren Regelsystemen in der digitalen Öffentlichkeit. Sie befasst sich damit, wie sich beispielsweise internationale Menschenrechtsstandards in diesem Zusammenspiel verändern und welche Auswirkungen das hat: nicht nur auf unser Verständnis von Öffentlichkeit, sondern auch auf unser Selbstverständnis als derjenigen, die sich in diesen Räumen bewegen.

## Systemische Risiken

Auch Gruppenmitglied Chaewon Yun vom Max-Planck-Institut für Bildungsforschung in Berlin widmet sich



FOTO: CHRISTIAN DEMARCO

dem digitalen öffentlichen Raum. Sie forscht zu künstlicher Intelligenz (KI) unter dem Aspekt der Mensch-Technik-Interaktion. Yun kombiniert sozialwissenschaftliche Fragestellungen mit computergestützten Methoden (Computational Social Science): Mittels empirischer Methoden wie Online-Experimenten, dem Einsatz von KI zur Bearbeitung von natürlicher Sprache oder Netzwerkanalysen für EU-Rechtsakte untersucht sie, welche Bedeutung der Mensch in der digitalen Transformation hat – und was es für die digitale Transformation, insbesondere für die Entwicklung künstlicher Intelligenz, bedeutet, menschenzentriert zu sein. „Zwar ist

in politischen Erklärungen und sogar dem AI Act oft die Rede von ‚menschenzentrierter künstlicher Intelligenz‘, die konkrete Bedeutung des Konzepts ist jedoch unscharf und umstritten“, sagt Yun.

Yun hat mehrere Jahre KI für einen Technikhersteller entwickelt und weiß um die Bedeutung von KI für die Debatte in sozialen Medien, die sich durch die Nutzung und Wirkung von Algorithmen, die Kuratierung von Inhalten, den Einsatz von Chatbots und generativer KI verändert hat. Nicht wenige sehen in der zunehmenden Verrohung der digitalen Kommunikation ein strukturelles und sys-

temisches Risiko, das von vorneherein für das Miteinander im digitalen öffentlichen Raum besteht, wenn private Akteure via Technik den Diskurs steuern können.

Ideen und Erkenntnisse tauschte das Max-Planck-Team auf einem Workshop Mitte Februar mit Wissenschaftlern wie Praktikern aus. Fest steht: Regulierung allein ist nicht alles. Zwar nutzt die EU-Kommission ihre rechtlichen Möglichkeiten, um die Rechtsverstöße zu ahnden. Mehrere Bußgeldverfahren gegen Meta, X und Tiktok wegen Gefährdung Jugendlicher, Duldung illegaler Inhalte und Eingriffe in die Integrität von Wahlen nach dem Digital Services Act laufen. Mit ersten Ergebnissen ist erst in ein bis zwei Jahre zu rechnen. „Es handelt sich dabei eher um ein Pflaster für ein kaputtes System“, sagt Erik Tuchtfeld. Was es brauche, sei mehr Vielfalt an digitalen öffentlichen Orten – beispielsweise über alternative Plattformen, deren technische und organisatorische Struktur Machtkonzentration verhindere, etwa durch Dezentralität und Interoperabilität. Beispiele liefert das Fediverse: Auf Mastodon tauschen sich Forschende und Wissenschaftsinteressierte aus, auch Bluesky etabliert sich zunehmend.

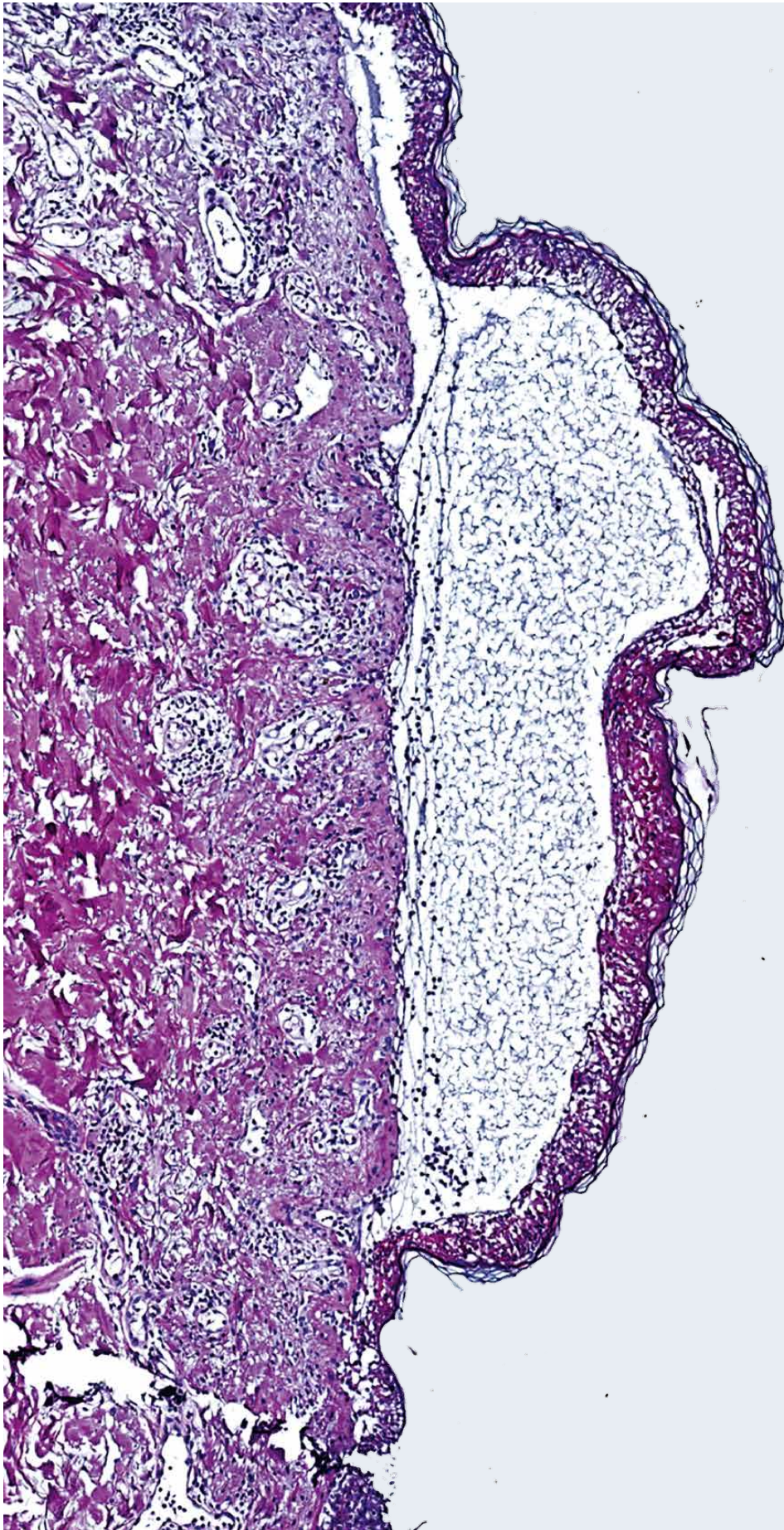
63

Welche Strukturen und Regelungen prägen den digitalen öffentlichen Raum? Welche Veränderungen sind nötig? Das erforschen Erik Tuchtfeld, Anna Sophia Tiedeke, Chaewon Yun und Germán Johannsen (von links).



„Das Momentum für neue Modelle und Initiativen war noch nie so hoch wie jetzt“, findet Erik Tuchtfeld. „Viele Menschen sind unzufrieden, wie es auf den kommerziellen Plattformen läuft, und dennoch werden sie genutzt.“ Das mag auch an der Größe und Bedienungsfreundlichkeit liegen. Viele Alternativen kommen weniger schillernd und mit weniger technischen Möglichkeiten daher. Es erinnert ein wenig an das gute, gesunde Vollkornbrot, das neben einem Croissant auf dem Frühstückstisch wartet und die Ernährungsvernunft anspricht. Ohne Zweifel ist sein Nährwert besser – gerade für den täglichen Verzehr. „Der Vergleich hinkt etwas“, bemerkt Tuchtfeld. „Es gibt nicht wenige, die in diesen speziellen Croissants eher süchtig und krank machen – des Crack sehen.“ Schon um der Gesundheit der öffentlichen Debatte und der Demokratie willen sollte es mehr Vielfalt im digitalen Raum geben.





Angefärbte Hautprobe eines Patienten mit toxischer epidermaler Nekrolyse – einer seltenen, aber schweren Nebenwirkung mancher Medikamente. Unter dem Mikroskop lässt sich erkennen, wie sich die oberste Hautschicht, die Epidermis, ablöst.

# PROTEINE, DIE KRANK MACHEN

TEXT: ANDREAS LORENZ-MEYER

10 000 verschiedene Proteine bildet eine menschliche Zelle im Schnitt, mehr als 100 000 sind es im gesamten Körper. Für die Entschlüsselung des Proteininventars, auch Proteom genannt, braucht es enorm viel Rechenkraft – und künstliche Intelligenz. Matthias Mann und sein Team vom Max-Planck-Institut für Biochemie in Martinsried haben eine Technik entwickelt, mit der sie Krebs und andere Erkrankungen exakter diagnostizieren können. Therapien können damit genau auf die individuellen Bedürfnisse eines Patienten maßgeschneidert werden.

Im Jahr 2000 war es so weit: Der damalige US-Präsident Bill Clinton und der britische Premierminister Tony Blair verkündeten die Entschlüsselung des menschlichen Genoms, zehn Jahre nach Beginn des „Human Genome Project“. So bahnbrechend dieser Erfolg damals auch war, so war er doch nur ein erster Schritt auf dem Weg zu einem umfassenden Verständnis der Abläufe in unserem Körper. Denn nicht nur, dass die Funktion der rund 20 000 proteinkodierenden Gene größtenteils unbekannt war – auch zu welchen Proteinen die Gene die Blaupause liefern, lag damals noch im Dunkeln.

Seit rund 25 Jahren arbeiten deshalb Hunderte von Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftlern auf der ganzen Welt im „Human Proteome Project“ zusammen, um einen Proteinatlas des menschlichen Körpers zu erstellen. Die Forschenden entwerfen eine Karte sämtlicher Proteine in den rund 200 Zelltypen, die in unserem Körper vorkommen. Ob Nerven-, Muskel-, Haut- oder Leberzellen – sie alle produzieren einen auf ihre jeweiligen Aufgaben zugeschnittenen Satz an Proteinen. Auch die Beziehungen zwischen den Proteinen werden dabei erfasst. In Kürze könnte nun ein ähnlicher Meilenstein erreicht werden wie vor 25 Jahren. Mitte des Jahres wollen die Mitglieder des Projekts das menschliche Proteom vollständig entschlüsselt haben. Mit dabei sind auch Matthias Mann und sein Team.

Matthias Mann hat seine wissenschaftliche Laufbahn der Analyse von Proteinen gewidmet. Schon Ende der 1980er-Jahre hat er Verfahren entwickelt, mit denen sich Proteine selbst in winzigen Mengen schnell und exakt identifizieren lassen. Als Doktorand war er an der Yale University an der Entwicklung der sogenannten Elektrospray-Ionisation beteiligt. Damit

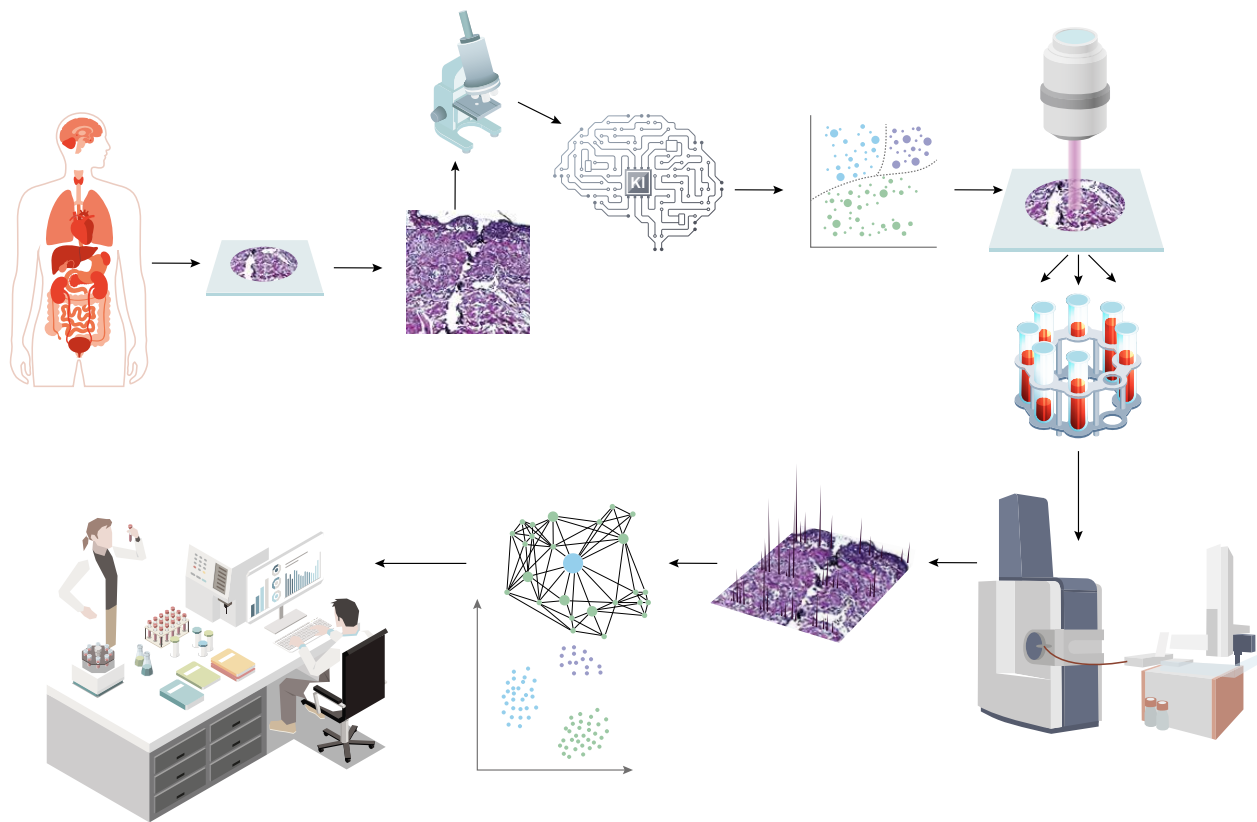
können Forschende Proteine mittels Massenspektrometrie untersuchen und deren Aminosäuresequenz entschlüsseln. Für die Erfindung wurde Manns Doktorvater John Fenn 2002 mit dem Nobelpreis für Chemie ausgezeichnet.

Um Proteine „massenspektrometrie-tauglich“ zu machen, leiten die Forschenden in Flüssigkeit gelöste Proteine durch eine haarfeine Kanüle und zerstäuben sie an deren Spitze. Dabei werden sie elektrisch aufgeladen und zerbrechen im Massenspektrometer in viele Bruchstücke. Die winzigen Flüssigkeitstropfen verdampfen sofort, sodass die Proteinfragmente einzeln vom elektrischen Feld des Spektrometers je nach Ladung und Masse auf unterschiedlichen Bahnen beschleunigt werden. Anhand der Bahnen lässt sich anschließend ihre Aminosäurezusammensetzung analysieren und mithilfe des Computers wieder zum ursprünglichen Gesamtmolekül zusammensetzen.

Die dafür notwendige Software hat Matthias Mann zusammen mit seinem Kollegen Jürgen Cox programmiert. Die KI-gestützte Analysesoftware MaxQuant beruhte noch nicht auf der

65

→



GRAFIK: GCO NACH MUND, A., COSCIA, F., KRISTON, A. ET AL.: DEEP VISUAL PROTEOMICS DEFINES SINGLE-CELL IDENTITY AND HETEROGENEITY. NAT BIOTECHNOL 40, 1231–1240 (2022)

Deep Visual Proteomics kombiniert Mikroskopie und Bildanalyse mittels künstlicher Intelligenz mit der Analyse aller Proteine eines Gewebes: Nach der Entnahme einer Gewebeprobe werden einzelne Zellen identifiziert und sortiert. Anschließend wird ihre Proteinzusammensetzung analysiert. Daraus lassen sich in einem letzten Schritt Proteinkarten erstellen. Diese Karten helfen dabei, die Ursachen von Erkrankungen zu erforschen.

66

heute meist angewandten Methode für maschinelles Lernen, dem „Deep Learning“. Trotzdem konnte sie die vielen Tausend Bruchstücke mit den Gewichtsangaben für bekannte Fragmente abgleichen, die in Datenbanken gespeichert sind. Mit dieser Technik ist es Manns Gruppe 2008 gelungen, das erste Proteom eines Lebewesens vollständig zu bestimmen: das der einzelligen Bäckerhefe.

Inzwischen haben Matthias Mann und sein Team am Max-Planck-Institut in Martinsried ihre Techniken so weit perfektioniert, dass sie in 20 Minuten fast den kompletten Proteinbestand einer menschlichen Zelle erfassen können. Das ist nicht nur für die Erforschung grundlegender biologischer Abläufe wichtig. Auch auf einen einzelnen Patienten zugeschnittene Krankheitsdiagnosen und Therapien werden dadurch möglich. 2022 haben die Forschenden eine Technik namens Deep Visual Proteo-

mics entwickelt, bei der mehrere hochmoderne Verfahren kombiniert werden.

## Markierung kranker und gesunder Zellen

In einem ersten Schritt machen die Forschenden in Gewebeproben beispielsweise gesunde Zellen von Krebszellen unterscheidbar. Dabei markieren sie Proteine, die nur in Tumorzellen vorkommen, und solche, die ausschließlich von gesunden Zellen gebildet werden, mit fluoreszierenden Farbstoffen. Künstliche Intelligenz kann die in unterschiedlichen Farben leuchtenden Zellen in Mikroskopbildern dann in „krank“ oder „gesund“ klassifizieren. Anschließend schneidet ein Laser die Zellen einzeln aus dem Gewebe heraus, und kranke und gesunde werden getrennt voneinander gesammelt.

Nun setzen die Forschenden die Proteine aus den Zellen frei und trennen diese anschließend mit einem am Max-Planck-Institut entwickelten Chromatografieverfahren. Dieses ist in der Lage, selbst kleinste Mengen der unterschiedlich schweren und elektrisch geladenen Fragmente voneinander zu trennen. Auch störende Substanzen wie Salze, Fette und DNA-Bruchstücke werden so entfernt. Anschließend analysieren Matthias Mann und sein Team die Bruchstücke mithilfe des Elektrospray-Massenspektrometers und einer neuen Analysesoftware.

Mit Deep Visual Proteomics können die Forschenden also alle Proteine, die in den gesunden und den kranken Zellen der Gewebeprobe vorkommen, mitsamt ihrer Häufigkeit erfassen. „Die Technologie ist ein bedeutender Fortschritt, denn damit können wir erstmals das Proteininventar einzelner Zellen erstellen und kranke und

gesunde Zellen des gleichen Typs miteinander vergleichen. So können wir dann beispielsweise bestimmen, welche Proteinveränderungen an einer Krebserkrankung beteiligt sind“, erklärt Mann.

Ihre Praxistauglichkeit hat das Verfahren bereits in Studien bewiesen. In einer Untersuchung haben Matthias Manns Team und Forschende des Klinikums der Ludwig-Maximilians-Universität München mittels Deep Visual Proteomics die Ursachen einer schweren Hautreaktion auf bestimmte Arzneimittel entdeckt: Die toxische epidermale Nekrolyse ist eine seltene, aber äußerst schwere Nebenwirkung mancher Medikamente und Antibiotika. Die Erkrankung beginnt als scheinbar harmloser Hautausschlag, führt aber im weiteren Verlauf zu großflächiger Blasenbildung und Ablösung der Haut. Bis zu 30 Prozent der Betroffenen sterben. „Die Proteomanalyse erkrankter Zellen hat ergeben, dass diese viel mehr Proteine des sogenannten JAK/STAT-Signalwegs bilden“, erklärt Mann. Dieser kann auch bei anderen entzündlichen Erkrankungen übermäßig aktiv sein. Glücklicherweise gibt es bereits Medikamente, mit denen sich seine Aktivität verringern lässt: Sogenannte JAK-Inhibitoren werden bereits zur Behandlung atopischer Dermatitis oder

rheumatoider Arthritis eingesetzt. Weitere Untersuchungen ergaben, dass diese Wirkstoffe auch bei toxischer epidermaler Nekrolyse wirksam sind. Nach der Veröffentlichung der Ergebnisse kontaktierte die Mutter eines neunjährigen Mädchens aus Texas, das unter einer schweren Form der Erkrankung litt, die Forschenden. Der

Arzt des Kindes war einverstanden, seine Patientin trotz fehlender Zulassung mit einem JAK-Inhibitor zu behandeln. Die Therapie schlug an: „Das Mädchen ist wieder gesund. Ohne die Behandlung wäre es mit Sicherheit gestorben“, so Mann. Eine klinische Studie soll nun die Voraussetzung dafür schaffen, dass das Mittel auch in Deutschland zur Behandlung von toxischer epidermaler Nekrolyse zugelassen wird.

## AUF DEN PUNKT GEBRACHT

Dank der Fortschritte auf dem Gebiet der Proteomik lassen sich Proteine identifizieren, die an Erkrankungen beteiligt sind.

Mit der „Deep Visual Proteomics“-Technologie kann das Proteininventar verschiedener Zelltypen eines Gewebes analysiert und zwischen gesunden und kranken Zellen unterschieden werden. Eine auf künstlicher Intelligenz beruhende Bildanalyse-Software spielt bei diesem Verfahren eine wichtige Rolle.

Mit der Technik haben Forschende bereits wichtige Erkenntnisse über die Entstehung von weißem Hautkrebs und über eine seltene, aber oft tödlich verlaufende Nebenwirkung mancher Medikamente gewonnen.

Deep Visual Proteomics könnte auch bei anderen Erkrankungen eingesetzt werden, schließlich sind Proteine an einer Vielzahl von Krankheitsbildern beteiligt, beispielsweise an neurodegenerativen Krankheiten wie Alzheimer. So führen im Gehirn von Alzheimerpatienten Ablagerungen falsch gefalteter Proteine zum Tod von Nervenzellen. Warum diese Proteine für Zellen tödlich sind, will Matthias Mann nun mit seiner neuen Technik herausfinden. Auch für die Vorbeugung von Erkrankungen könnte die Proteomik nützlich sein. Allein die mehr als 5000 unterschiedlichen Proteine, die im menschlichen Blut enthalten sind, bergen Hinweise auf eine Fülle drohender oder bereits bestehender Erkrankungen. KI-gestützte Analyseverfahren haben also das Potenzial, zu einem Standard-Diagnoseverfahren in Kliniken zu werden.

67



Im Labor von Matthias Mann (rechts im Bild) analysiert eine Batterie von Massenspektrometern das Proteinrepertoire des Körpers.



FOTO: AXEL GRIESCH / MPG

Gebannt: Vorm  
Schlafengehen noch  
mal schnell ein  
paar Reels scrollen.  
Was macht das mit  
unserem Gehirn?  
Abgesehen von den  
Inhalten, spielt vor  
 allem die Intensität des  
Bildschirmlichts  
eine Rolle.

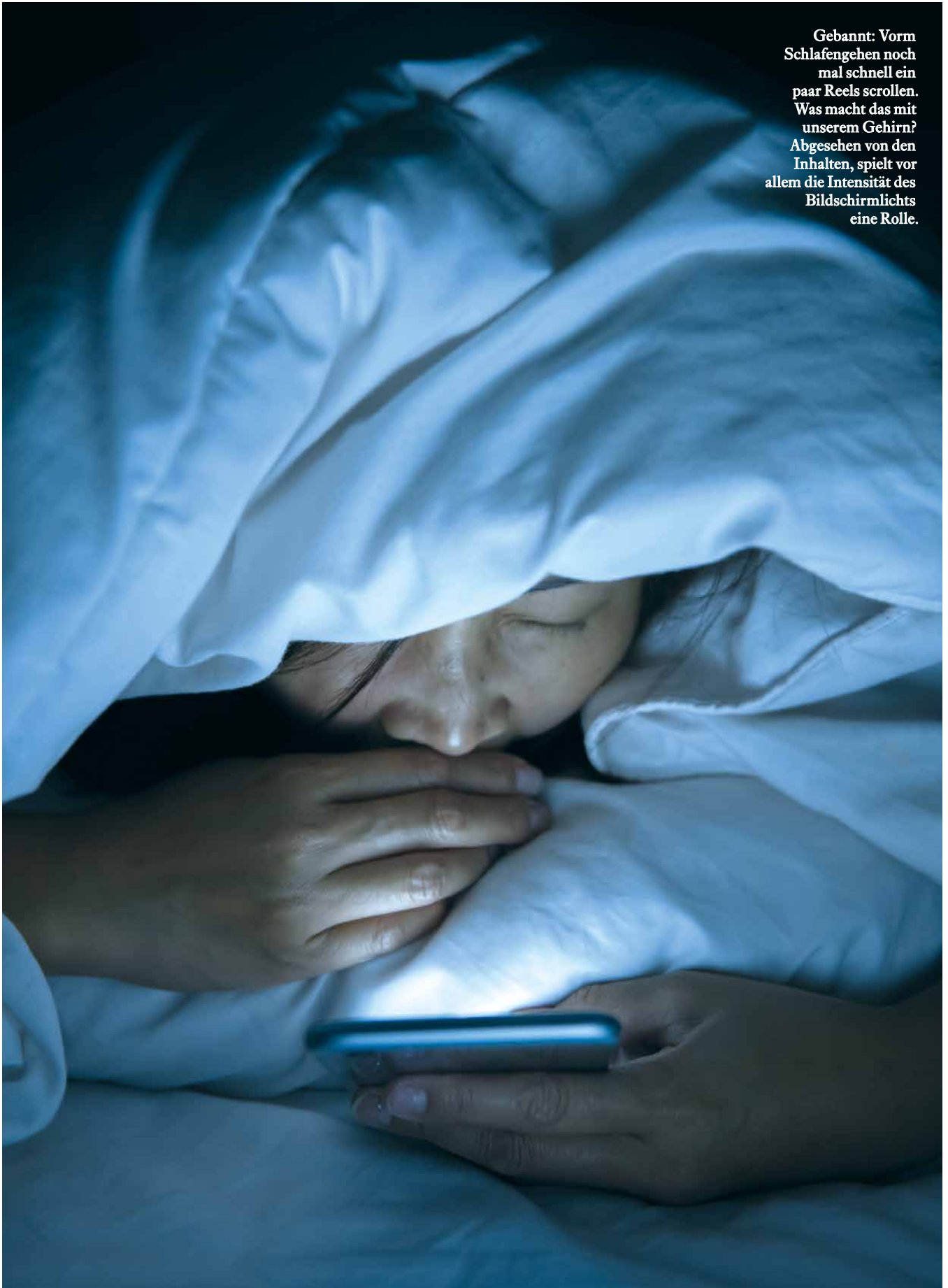


FOTO: ADOBESTOCK / REEWUNJUNERR

# VON NACHTEULEN UND FRÜHEN VÖGELN

TEXT: NORA LESSING

69

Es gibt Menschen, die gelten als nachtaktiv. Andere müssen niesen, wenn sie die Sonne blendet. Manuel Spitschan und seine Mitarbeitenden untersuchen am Max-Planck-Institut für biologische Kybernetik in Tübingen, wie das menschliche Auge Lichtreize verarbeitet und welche Rolle diese für die innere Uhr spielen, die auch in völliger Dunkelheit weiterzuticken scheint.

Das Geräusch des Handyweckers am Morgen, der Geruch nach frisch gemahlenem Kaffee, das Gefühl, wenn einem auf dem Weg zur Arbeit die ersten Sonnenstrahlen ins Gesicht scheinen. Der Alltag vieler Menschen ist von Routineabläufen und wiederkehrenden Sinneseindrücken bestimmt. Sie geben Orientierung, strukturieren unseren Tag, zeigen an, welche Handlung und welches Ge-

fühl als Nächstes kommen werden. Licht spielt dabei eine entscheidende Rolle: Viele merken, dass sie im Winter schlechter in die Gänge kommen, spüren, wie sonnige Tage die Lebensgeister in ihnen wecken, nehmen wahr, dass am Abend zuerst die Konzentration und dann wir selbst sinken – nämlich ins Bett. Da liegt es nah anzunehmen, dass es allein die Sonne und unsere Routinen sind, die unserem Leben einen Takt geben. Zusätzlich jedoch tickt tief in unserem Inneren eine weitere Uhr. Und diese hat erheblichen Einfluss darauf, wie unser Alltag verläuft.

Insekten, deren Entwicklungsstadium von der Mondphase abhängt. Pflan-

zen, die in einem 24-Stunden-Rhythmus ihre Blattstellung ändern. Schimmelpilze, die selbst im Weltraum noch periodisch neue Sporen ausbilden, als wüssten sie auch jenseits der Erde ganz genau, wie spät es ist: Wie in einem streng durchkomponierten Orchesterstück folgen viele Abläufe in der Biologie hochspezifischen Rhythmen. Ein angeborener Taktgeber, die sogenannte innere Uhr, ist es, der hier wie ein Dirigent dafür sorgt, dass im Musikstück des Lebens alles nach (Zeit-)Plan läuft. Umwelteinflüsse wie das Licht kommen der inneren Uhr dabei zur Hilfe: Sie liefern Hinweise, ob das Tempo des Dirigats verlangsamt oder beschleunigt werden sollte. Um unablässig

→

weiterzuticken, ist die innere Uhr jedoch nicht zwingend auf Co-Dirigenten angewiesen. Selbst im Weltall noch zwingt sie uns und anderen Lebensformen bestimmte Rhythmen auf – oder auch im Inneren eines Bunkers.

Dass nicht nur Tiere und Pflanzen, sondern auch Menschen einen inneren Taktgeber haben, galt in der Wissenschaft spätestens im 20. Jahrhundert als gesichert. Über welche Eigenschaften genau die innere Uhr verfügt und über welche Signalwege sie physische Prozesse steuert, gibt der Forschung jedoch bis heute einige Rätsel auf. In den 1970er-Jahren wollten Forschende des Max-Planck-Instituts für Verhaltensphysiologie mehr über sie herausfinden und führten zu diesem Zweck Experimente durch, die bis heute berühmt-berüchtigt sind. Freiwillige verbrachten mehrere Wochen unter Ausschluss von Tageslicht in einem unterirdischen Bunker, maßen dabei ihre Körpertemperatur, beobachteten ihr Verhalten. Dabei stellte sich heraus: Auch ohne Tageslicht stellte sich ein circadianer Rhythmus ein. Die Schlaf- und Wachphasen der Versuchspersonen bildeten also annähernd einen 24-Stunden-Tag ab.

70

## Ein verlässlicher Taktgeber im Gehirn

„Circadian kommt von *circa* und *dian*, also von *ungefähr* und *Tag*“, erklärt Manuel Spitschan. Der Psychologe hat in Neurowissenschaften promoviert und ist Professor für Chronobiologie an der Technischen Universität München. Als Forschungsgruppenleiter am Max-Planck-Institut für biologische Kybernetik in Tübingen untersucht er, wie sich Licht auf unsere innere Uhr auswirkt. Für seine Experimente muss niemand in einen Bunker steigen. Und die Ergebnisse sind aufschlussreich: An eine Atomuhr kommt der innere Taktgeber des Menschen vielleicht nicht heran. Dennoch arbeitet er erstaunlich zuverlässig. „In Experimenten, bei denen wir die innere Uhr vom Außenreiz der natürlichen Lichtein-



FOTOS: BLACHIAN / MPG

Unter Tage im Jahr 1973: Eine Studentin des Max-Planck-Instituts für Verhaltensphysiologie nutzt die Einsamkeit eines Bunkers in Erling-Andechs/Oberbayern und bereitet sich im dort untergebrachten Schlaflabor auf eine Prüfung vor (oben). Über Reaktionstests (unten) untersucht die Studentin ihre „innere Uhr“.

strahlung entkoppeln, zeigt sich, dass die Uhr trotzdem weiterläuft“, erklärt Manuel Spitschan. Im Schlaflabor schlafen Probanden zum Beispiel einviertel Stunden und sind im Anschluss dann zweieinhalb Stunden wach. „Diesen Schlaf-Wach-Rhyth-

mus wiederholen wir mehrmals über einen Zeitraum von 40 Stunden.“ Während eines normalen und ununterbrochenen Tages sammelt sich Adenosin im Gehirn an. Dieses Molekül ist ein Abbauprodukt von ATP (Adenosintriphosphat), dem Energie-

träger für Körperzellen, und führt am Ende eines Tages zu zunehmender Schläfrigkeit. Je länger man wach bleibt, desto stärker wird also der sogenannte Schlafdruck. „Indem wir unsere Probandinnen und Probanden immer wieder schlafen lassen, senken wir diesen Schlafdruck“, erklärt Manuel Spitschan. „Ich würde aber niemandem empfehlen, so zu leben.“ Im Körper laufen also zwei Prozesse ab: Der eine steuert den Schlafdruck, der andere die innere Uhr. Unter natürlichen Bedingungen stehen beide miteinander in einer Wechselbeziehung.

Im Versuch geht es also alleine darum, die innere Uhr zu verstehen und die Art und Weise, wie sie auf den Körper einwirkt. Dazu messen die Forschenden, wie sich die Körpertemperatur, die Konzentration der körpereigenen Hormone Melatonin und Cortisol oder die Pupillenreaktion auf Licht über den Tag verändern. „Der Rhythmus der inneren Uhr, den wir dann üblicherweise messen, liegt nicht bei genau 24 Stunden, sondern vielleicht bei 23,5, 24,2 oder 24,5 Stunden“, sagt Manuel Spitschan. Der innere Tag mancher Menschen ist also etwas zu kurz. Andere wiederum neigen dazu, jeden Tag ein bisschen später ins Bett zu gehen. Im Schnitt nähert sich der menschliche Biorhythmus dabei der natürlichen Tageslänge von 24 Stunden an.

Diese Experimente zeigen, dass die innere Uhr unzählige Prozesse im Körper steuert und dabei nicht nur einen Einfluss darauf hat, wie wach oder müde wir uns fühlen. So lässt sie im Laufe des Tages etwa periodisch unsere Körpertemperatur schwanken, reguliert, wann und wie viele Stresshormone ausgeschüttet werden, lässt unseren Stoffwechsel zu bestimmten Zeiten hoch- oder runterfahren. „Wir können in unseren Experimenten viele verschiedene circadiane Rhythmen beobachten – zum Beispiel mit Blick auf die Sehleistung oder unsere Aufmerksamkeit“, erklärt Manuel Spitschan. „So können wir uns in Abhängigkeit von der inneren Uhr zu unterschiedlichen Tageszeiten unterschiedlich gut konzentrieren. Auch die Immunantwort

scheint circadian unterschiedlich zu sein, genauso wie die Muskelleistung. Insgesamt sieht es so aus, als seien fast alle physiologischen Funktionen des Menschen abhängig von circadianen Rhythmen.“

## AUF DEN PUNKT GEBRACHT

Die innere Uhr steuert viele Prozesse im menschlichen Körper, darunter Wachheit und Müdigkeit. Sie arbeitet etwa im 24-Stunden-Rhythmus, unabhängig von äußeren Einflüssen wie häufigen Sonnenauf- und Untergängen, denen Astronautinnen und Astronauten ausgesetzt sind.

Taktgeber ist ein Nervenbündel im Gehirn, das die Ausschüttung des Schlafhormons Melatonin steuert. Dieser molekulare Prozess ist in den Zellen angelegt.

Äußere Lichtreize wie künstliches Bildschirmlicht können die innere Uhr in begrenztem Umfang beeinflussen. Denn spezielle Lichtrezeptoren in der Netzhaut sind mit dem Taktgeber im Gehirn verbunden.

Dass es diese Rhythmen gibt, ist inzwischen gänzlich unstrittig. Über welche Signalwege genau sie jedoch gesteuert werden, ist in vielen Fällen noch immer nicht bekannt. Eine ganz zentrale Frage immerhin konnten Forschende vor einigen Jahren beantworten: Die Frage nach dem Sitz der inneren Uhr im menschlichen Körper. „Der *Nucleus suprachiasmaticus*, kurz SCN, ist ein kleines Nervenbündel im Gehirn, wo sich die beiden Sehnerven kreuzen“, erklärt Manuel Spitschan. „In Studien hat sich gezeigt, dass der SCN zwar nicht der einzige, aber offenbar der zentrale Taktgeber für eine Reihe von physiologischen Prozessen ist.“ So sendet die reiskorngroße Struktur nachweislich unter anderem Signale an die Zirbeldrüse – eine ebenfalls sehr kleine

Hirnregion, die das Hormon Melatonin produziert. Schüttet die Zirbeldrüse Melatonin aus, dann erhält der Körper das Signal, dass es Zeit ist zu schlafen. „In Laborversuchen sehen wir, dass auch die Melatoninausschüttung im menschlichen Körper einem bestimmten Muster folgt, das sich ungefähr im 24-Stunden-Rhythmus wiederholt. Hier sieht man, dass die Periodenlänge in den molekularen Prozessen der Zellen angelegt ist.“ Mit anderen Worten: Auch ohne Lichtsignale aus der Umwelt weist die innere Uhr die Zirbeldrüse periodisch dazu an, Melatonin zu produzieren. Ob jemand ein Frühaufsteher oder eine Nachteule ist, ist somit eine Sache der Genetik. Als komplett unabhängige Struktur jedoch darf man sich die innere Uhr dann auch wieder nicht vorstellen: Eine gewisse Flexibilität bringt sie mit, kann in Abhängigkeit von Umwelteinflüssen ihre Zeiger ein Stückchen vor- oder zurückschieben. Solche Korrekturen jedoch gehen eher bedächtig vonstatten. Nach längeren Flugreisen etwa stellt sich die innere Uhr mithilfe von Lichtreizen durchaus auf die neue Zeitzone um. Das aber kann einige Tage dauern. Genauer: etwa pro Stunde Zeitverschiebung ein Tag Gewöhnungszeit.

## Die innere Uhr ist anpassungsfähig

Das Licht als äußerer Reiz vermag zwar die Periode von etwa 24 Stunden nicht zu verändern, wirkt aber immerhin kalibrierend auf die innere Uhr ein. Wie genau das geht, erforschen Manuel Spitschan und seine Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter in Tübingen. „In unseren Studien untersuchen wir, wie unterschiedliche Lichtreize im Gehirn verarbeitet werden und wie die innere Uhr darauf reagiert.“ Die Forschenden setzen Probanden in ihrem Schlaflabor Licht unterschiedlicher Intensitäten und Wellenlängen aus und messen erneut eben jene Parameter, die sich im Takt der inneren Uhr periodisch verändern. Da sich die Ergebnisse aus dem Schlaflabor dabei häufig nur schlecht auf den Alltag übertragen

71



lassen, führen die Chronobiologen zusätzlich auch Feldstudien durch. „In einer Langzeitstudie vermessen wir zum Beispiel gerade den Schlaf unter natürlichen Bedingungen“, sagt Manuel Spitschan. „Die Probanden bekommen hierzu ein kleines EEG-Gerät mit, das ihre Hirnströme misst. Das bauen sie sich abends zu Hause selber an den Kopf, und wir erfassen dann damit über ein Jahr, wie sich bei ihnen verschiedene Schlafphasen abwechseln – zum Beispiel, wie lang die Tiefschlafphasen sind.“

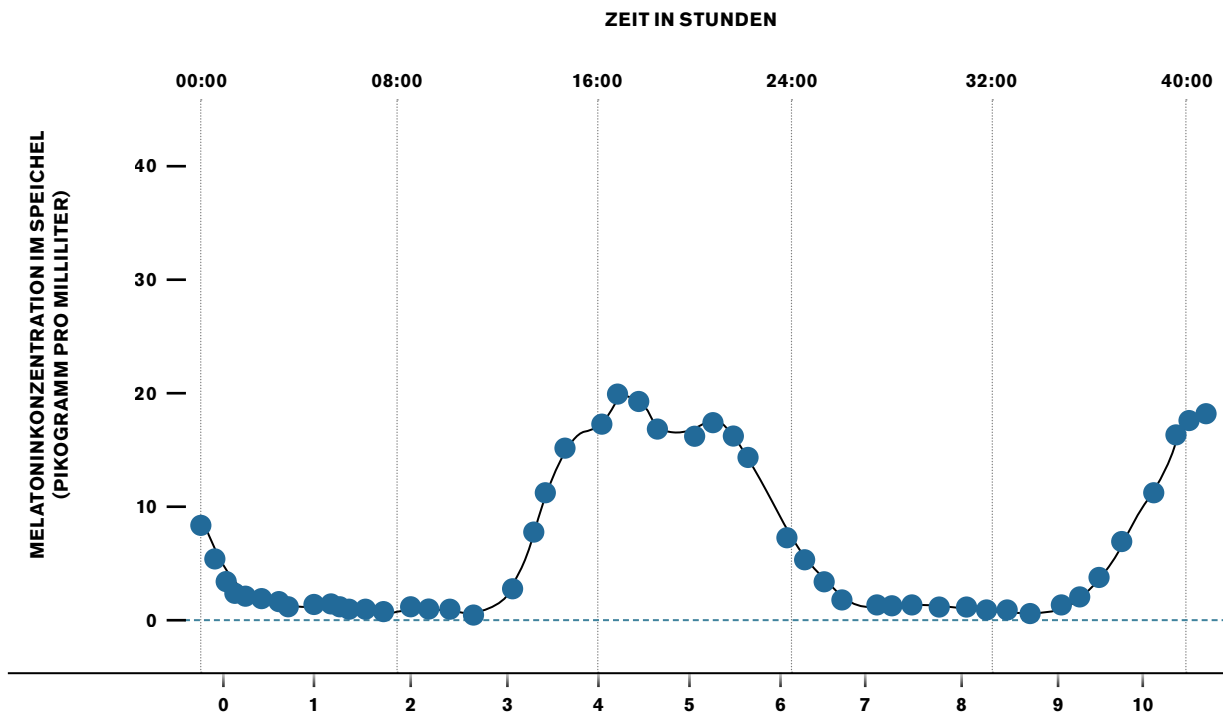
In weiteren Versuchen messen die Wissenschaftler, wie viel Licht Menschen in ihrem Alltag ausgesetzt sind. Hintergrund ist, dass grundständige Daten hierzu bislang nie erhoben worden sind. Solche Daten und entsprechende Langzeitstudien werden jedoch unbedingt gebraucht, um die Effekte von Licht im Alltag quantifizieren und hierüber zu empirisch fundierten Gesundheitsempfehlungen kommen zu können. Über den

Tagesverlauf sind Menschen unterschiedlichen Lichtquellen ausgesetzt: Tageslicht, elektrisches Licht, Licht von Displays und Kombinationen davon. Um die tägliche Lichtexposition messen zu können, entwickelten die Forschenden am Institut eine Reihe von elektronikdurchsetzten Maßanfertigungen – eine Brille, eine Kette und ein Armband. Probanden können diese im Alltag ohne größeren Aufwand am Körper tragen. „Befestigt sind daran dann jeweils kleine Sensorchips, die die Lichtintensität im Laufe des Tages aufzeichnen“, erklärt Manuel Spitschan. Die Forschenden messen damit unter anderem die Lichtmenge, der sich Probanden in Deutschland, Spanien, Schweden, Ghana, den Niederlanden oder der Türkei aussetzen, während sie ihren Alltagsaktivitäten nachgehen.

Welche Ergebnisse seiner Grundlagenforschung fand Manuel Spitschan bislang besonders erhellend? „Um die Jahrtausendwende stellte sich heraus,

dass es in der Netzhaut zusätzlich zu den Stäbchen und Zapfen einen weiteren Zelltyp gibt, die melanopsin-haltigen Ganglienzellen“, sagt der Forscher. „Dieser Photorezeptor hat einen maßgeblichen Einfluss auf die innere Uhr.“ Verarbeiten diese Zellen Lichtreize, senden sie offenbar ein Signal an den *Nucleus suprachiasmaticus* und stellen die innere Uhr damit ein Stück zurück. Das Gehirn erhält so die Referenzinformation, dass es noch Tag sein muss, und schüttet vorerst kein Melatonin aus. Um zu klären, ob auch die Zapfen des Auges Signale an die innere Uhr senden können, entwarfen Manuel Spitschan und seine Kollegen mehrere aufwendige Experimente. „Wir haben dafür spezielle Lichtreize erzeugt, die ausschließlich die Zapfen im Auge ansteuern. Es zeigte sich dann: Auf die Melatoninproduktion hat das keinen Einfluss.“ Daraus lässt sich schließen, dass Licht nicht gleich Licht ist. Nur bestimmte Lichtreize sind demnach für die innere Uhr relevant – nämlich

Im Intervallschlaf: Auch wenn elf Versuchspersonen über 40 Stunden hinweg etwa alle vier Stunden einmal kurz schlafen, folgt ihr Melatoninspiegel annähernd einem 24-Stunden-Rhythmus. Gezeigt sind über die Gruppe gemittelte Werte.





Blaues und vor allem helles künstliches Licht löst in den Ganglienzellen der Netzhaut Signale aus, die das Schlafhormon Melatonin unterdrücken und auch die Pupillengröße beeinflussen.

Über den Pupillenreflex messen die Forschenden, wie hier im Bild, wie empfindlich diese Zellen auf das äußere Licht reagieren.

diejenigen, die auf melanopsinhaltige Ganglienzellen wirken. „Das ist tatsächlich ein großer Erkenntnisgewinn: Es bedeutet, dass wir die Zäpfchen in unseren Experimenten außen vor lassen können.“ Und es geht noch weiter. Versuche zeigen, dass die Ganglienzellen besonders empfindlich auf blaues Licht mit einer Wellenlänge von 490 Nanometern reagieren. Künstliches Licht auf Handy-Bildschirmen hat also sicherlich eine Wir-

kung auf das Gehirn. Vor allem aber kommt es auf die Helligkeit der Lichtquelle an. Wer den Handy-Bildschirm einfach dimmt, reduziert den Einfluss auf die innere Uhr deutlich als ein Blaufilter.

Vermutlich etwas weniger folgenreich für die Forschung, dafür aber umso unterhaltsamer sind die Untersuchungen der Spitschan'schen Arbeitsgruppe zum photischen Niesreflex.

Hintergrund ist, dass rund 20 bis 30 Prozent aller Menschen zwanghaft niesen müssen, wenn sie hellem Licht ausgesetzt sind. Übrigens auch Manuel Spitschan selbst: „Als Wissenschaftler will ich da natürlich wissen, was dabei im Gehirn passiert.“ In den Dienst dieser Forschung stellte sich unter anderem ein Student am Institut, dokumentierte einen Monat lang seine Nieser. Im Schnitt zählte er knapp drei am Tag. „Die Frequenz des photischen Niesens hängt dabei von der Jahreszeit ab – im Sommer ist natürlich viel mehr Tageslicht vorhanden als im Winter. Meine Theorie ist, dass der Reflex etwas mit den melanopsinhaltigen Ganglienzellen zu tun hat. Bislang konnten wir den Mechanismus aber noch nicht aufklären.“

## Gedimmte Displays schonen die innere Uhr

Die Forschung dazu, wie genau Licht auf den menschlichen Körper und das Gehirn wirkt, steckt teilweise noch in den Kinderschuhen. Dennoch sind sich Chronobiologinnen und -biologen weltweit einig, dass unser Umgang mit Licht die menschliche Gesundheit und Lebensqualität auf entscheidende Weise beeinflusst. Um mehr Menschen dafür zu sensibilisieren, touren Kollegen von Manuel Spitschan ab Mai 2025 mit einem mobilen Forschungslabor durch Deutschland. „Man kann darin dann zum Beispiel mithilfe eines Fragebogens den eigenen Chronotyp bestimmen oder die eigenen Pupillenreaktionen auf einem Monitor beobachten, während Lichtreize auf einen einwirken“, erläutert Manuel Spitschan. Ziel sei es, mehr Interesse an chronobiologischen Zusammenhängen zu wecken und Forschungsergebnisse stärker in die Breite zu tragen. Sich hartnäckig haltende Fehllannahmen sorgten in der Bevölkerung so etwa seit Jahrzehnten für unnötiges Leid und unberechtigte Kritik. „Menschen glauben dann zum Beispiel, dass sie faul sind, weil sie es nicht schaffen, früh aufzustehen. Dabei ist das oft biologisch bedingt. Dieses Wissen mehr in die Gesellschaft zu tragen, kann entlastend wirken.“

Max-Planck-Forschende kooperieren mit Partnern in mehr als 120 Ländern. Hier schreiben sie über ihre persönlichen Erfahrungen und Eindrücke. Honour McCann vom Max-Planck-Institut für Biologie in Tübingen ist für vier Wochen in Indonesien unterwegs. Gemeinsam mit ihren indonesischen Partnern sucht sie nach dem Ursprung eines Krankheitserregers, der Bananenstauden befällt und sich derzeit auf Plantagen in Asien ausbreitet.

FOTO: ADOBESTOCK / KIRAN



Wer denkt schon an Bananen, wenn von bedrohten Pflanzen die Rede ist? Und doch ist ausgerechnet diese alte Kulturpflanze, die ursprünglich aus Südostasien stammt, besonders gefährdet. Das Problem ist, dass heutzutage weltweit fast ausschließlich eine einzige Sorte – die Cavendish-Banane – angebaut wird. Die Pflanzung in riesigen Monokulturen ist zwar wirtschaftlich, aber auch riskant, denn auf den genetisch verarmten Plantagen breiten sich Krankheitserreger wie Lauffeuer aus. So hat in den 1950er-Jahren ein Pilz die Vorgängersorte Gros Michel fast ausgerottet, und auch heute ist die Gefahr einer solchen Bananen-Apokalypse keineswegs gebannt.

Eine ernste Bedrohung für die Bananenplantagen Südasiens ist das Bakterium *Ralstonia solanaceae*. Es hat sich seit den 1980er-Jahren zunächst in Indonesien ausgebreitet und mittlerweile

auch das asiatische Festland erreicht. Infizierte Pflanzen haben schrumpelige und ungenießbare Früchte. Mit fortschreitender Krankheit verdorrt die ganze Pflanze und stirbt ab. Unser Ziel ist es, anhand von Genomanalysen den Ursprung des Erregers zu lokalisieren und nachzuvollziehen, wie er sich ausgebreitet hat. Auf diese Weise möchten wir nicht nur die Dynamik des Ausbruchs besser verstehen, sondern auch andere, wilde Wirtspflanzen finden. Wenn es uns gelingt, die Gene zu charakterisieren, die diese Pflanzen resistent gegenüber *R. solanaceae* machen, dann wäre das ein wichtiger Schritt hin zur Züchtung neuer, widerstandsfähiger Bananensorten.

Bananen, so weit das Auge reicht: Auf Plantagen wie dieser werden Krankheiten leicht von Pflanze zu Pflanze übertragen und können ganze Bestände vernichten.

Vor Ort arbeite ich mit Siti Subandiya, Professorin an der Universitas Gadjah Mada in Yogyakarta auf Java und dem Pflanzenpathologen Ady Prakoso zusammen. Gemeinsam sammeln wir Gewebeproben infizierter Bananenpflanzen von verschiedenen Inseln, um die DNA des Erregers zu isolieren und im Labor zu sequenzieren. Siti und Ady sind nicht nur großartige Wissenschaftler und tolle Kollegen. Durch sie lerne ich auch immer wieder Neues über ihr Heimatland und seine Kultur. Gemeinsam haben wir etwa die berühmte Tempelanlage Borobudur aus dem 8. Jahrhundert besucht, die nur wenige Kilometer außerhalb der Stadt liegt. Sie ist das größte buddhistische



## SUMBAWA, INDONESIEN

Denkmal der Welt und zählt zum UNESCO-Weltkulturerbe. Ein anderes Mal haben die beiden einen Batik-Workshop für uns organisiert. Die Arbeit mit den feinen Stoffen, dem heißen Wachs und den Farben erfordert Konzentration und Geduld, ganz ähnlich wie gute Wissenschaft.

Um Proben zu sammeln, sind wir vor allem gegen Ende der Regenzeit unterwegs. Wenn rundum alles grün ist, lassen sich infizierte Bananenstauden mit ihrem charakteristischen gelblichen Neuaustrieb leichter ausfindig machen. Diese Saison wollen wir Drohnen einsetzen, um Fotos aus der Luft zu machen. Auch werden wir Motorräder nutzen, damit wir flexibel sind und uns in Gegenden abseits befestigter Straßen bewegen können. Auf den matschigen Feldwegen kann so eine Sammelfahrt leicht zur Schlamm-schlacht ausarten. Trotzdem hat sich diese Art der Fortbewegung bewährt, und für mich gibt es auch keine bessere Möglichkeit, um die Inseln kennenzulernen. Die tropische Landschaft mit ihren Reisterrassen begeistert mich genauso wie die offenen und höflichen Menschen, denen wir unterwegs begegnen. Viele fragen nach, was wir

machen, und bieten uns sogar ihre Hilfe an. Es kam auch schon vor, dass wir nach Hause eingeladen wurden.

Auch die letzten Tage war ich mit dem Motorrad unterwegs, diesmal allerdings allein und rein privat. Ich habe Urlaub genommen und bin über die Insel Lombok nach Sumbawa gereist. Auf Lombok bin ich gestern in ein Unwetter geraten und war im Nu komplett durchweicht. Nach meiner Ankunft auf Sumbawa heute Nachmittag habe ich mich in einem winzigen Hotel mit nur drei Gästezimmern einquartiert. Zum Abendessen gab es mein Lieblingsgericht Ayam Taliwang – gegrilltes Hühnchen in einer scharfen Sauce aus Kokosmilch, Nüssen und Chili. Nun sitze ich müde und zufrieden in meinem kleinen Zimmer und freue mich auf morgen. Ganz in der Nähe liegt ein bekannter Surfsport, den ich ausprobieren will. Gleich morgen früh werde ich mir ein Longboard ausleihen. In drei Tagen geht es wieder zurück nach Yogyakarta, wo ich Siti und Ady treffe. Dann setzen wir uns zusammen und planen unseren nächsten Sammeltrip. Auf unserer Landkarte sind noch einige weiße Flecken.



FOTO: PRIVAT

Honour McCann

44, stammt aus Montreal in Kanada und hat an der University of Toronto promoviert. Als Postdoc war sie mehrere Jahre in Neuseeland. Seit 2020 leitet Honour McCann am Tübinger Max-Planck-Institut für Biologie eine Forschungsgruppe, die sich mit der Evolution pflanzlicher Krankheitserreger befasst.

## DIE ANDERE NAOMI

Das aus der Literaturwissenschaft bekannte Motiv des Doppelgängers fasziniert und verstört zugleich. Charaktere, die ihrem spiegelbildlichen Ich begegnen, befinden sich meist in einer Identitätskrise, treffen den verdrängten Anteil des eigenen Ichs. Naomi Klein nutzt dieses Bild in *Doppelgänger*, um nicht nur ihr eigenes Schaffen als Autorin, Aktivistin und Lehrende zu reflektieren, sondern auch den postpandemischen Moment in Nordamerika zu analysieren – und liefert damit eine treffende Diagnose unserer Gegenwart. Dabei erkennt sie die Parallelen zwischen ihrer persönlichen Identitätskrise und einer gesellschaftlichen. Ausgangspunkt ihrer Reflexion sind die unfreiwilligen Online-Begegnungen mit ihrer eigenen Doppelgängerin: Naomi Wolf. Die „andere Naomi“ trägt nicht nur denselben Vornamen, auch sie hat, ähnlich wie Klein, Wurzeln in der feministi-

schen Bewegung. Doch Wolf verlor sich während der Pandemie in Verschwörungstheorien und wurde zu einer prägenden Figur der neuen Rechten und Querdenken-Bewegung. Klein fragt, warum einst so progressive Stimmen wie Wolf diesen Weg gehen, und verortet den Grund in den Versäumnissen einer linken Politik, die ihre Kernthemen vernachlässigt. Stellenweise verharrt Klein zu sehr im Anekdotischen, findet aber ihre stärksten Momente in einer sehr selbstkritischen Bestandsaufnahme der politischen Linken.

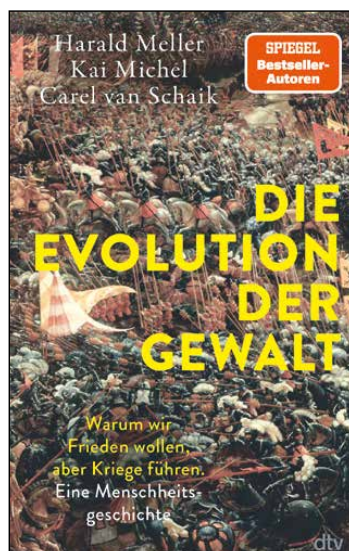
Anna Franziska Schulze

---

Naomi Klein  
*Doppelgänger*  
 496 Seiten, S. Fischer  
 29,00 Euro



76



## VOM JÄGER ZUM KRIEGER

Trotz aller Fortschrittlichkeit toben derzeit fast 60 Kriege und Bürgerkriege auf der Erde. Manche fragen sich deshalb verzweifelt, ob der Krieg nicht einfach zum Menschsein dazugehört. Für die Autoren liefert die Evolution des Menschen die Antwort: Krieg liegt nicht in unserer DNA, er ist vielmehr eine Folge unserer Lebensweise. Ursprünglich ist *Homo sapiens* an ein Leben als umherziehender Jäger und Sammler angepasst. Wie man von heute noch lebenden Völkern ohne feste Territorien und Besitztümer weiß, gibt es zwischen solchen Gruppen keine Kriege. Den größten Teil der Menschheitsgeschichte hinweg herrschte daher Frieden. Dies änderte sich erst mit dem Ende der letzten Eiszeit vor rund 15 000 Jahren, als einzelne Gruppen die häufiger werdenden, besonders reichen Fisch- und Jagdgebiete für sich beanspruchten und verteidigten. Aber erst mit dem Beginn der sesshaftwerdung vor 12 000 Jahren nahm die Kriegsführung so richtig Fahrt auf. Die Bevölkerung wuchs und mit ihr die Konkurrenz um

Grund und Boden sowie materielle Ressourcen. Mit der Zeit professionalisierte sich die Kriegsführung: Aus Jägern wurden Kämpfer. Für einen erfolgreichen Krieg brauchte es aber immer mehr Menschen und Material, die wiederum nur durch Kriege zu erlangen waren – ein Teufelskreis, dem wir bis heute nicht entkommen sind. Trotzdem ziehen die Autoren ein positives Fazit: Der Mensch ist nicht zum Krieg verdammt. So, wie dieser in die Welt gekommen ist, kann er auch wieder verschwinden. Das Zauberwort hierfür lautet: Kooperation. Die Evolution hat dem Menschen schließlich nicht nur die Fähigkeit zur Gewalt verliehen, sondern auch die zur Zusammenarbeit.

Harald Rösch

---

Harald Meller, Kai Michel, Carel van Schaik  
*Die Evolution der Gewalt*  
 368 Seiten, dtv Verlagsgesellschaft  
 28,00 Euro

# NEU

# ERSCHIENEN

## IST DA DRAUSSEN JEMAND?

Am 24. Juni 1947 steuert der Hobbypilot Kenneth Arnold seine kleine Maschine am Gipfel des Mount Rainier im US-Bundesstaat Washington vorbei, als er vor sich plötzlich neun Objekte sieht, die in Staffelformation fliegen und mit offenbar hoher Geschwindigkeit immer wieder die Richtung wechseln. Aufgeregt erzählt Arnold nach der Landung seinen Freunden davon und sagt, dass sich die Objekte bewegt hätten „wie eine Untertasse, wenn man sie übers Wasser springen lässt“. Aus dieser Aussage macht die Presse fälschlicherweise „untertassenartige Flugobjekte“ – und damit kommen die Ufos in die Welt. Unzählige Autorinnen und Autoren haben aus dieser Geschichte eine Sensation gemacht, Adam Frank erzählt sie in seinem Buch *Leben im All* angenehm unaufgeregt. Überhaupt ist der Astrophysiker an der University of Rochester nicht auf Sensation aus, sondern er klärt sachlich über die Möglichkeit außerirdischen Lebens auf. Dabei bleibt der Wissenschaftler skeptisch gegenüber allen Ufo-Sichtungen und sieht auch die aktuellen Veröffentlichungen zu *Unidentified Anomalous Phenomena (UAP)* als Raumschiffe von Aliens kritisch. In acht Kapiteln schreibt er verständlich und locker über kosmische Lauschprogramme, über die mögliche Entwicklung von Leben außerhalb der Erde und natürlich über die Suche nach Exoplaneten und der zweiten Erde. Ist da draußen jemand? Frank ist überzeugt, dass wir in absehbarer Zeit der Antwort auf diese uralte Menschheitsfrage ein Stückchen näher kommen werden.

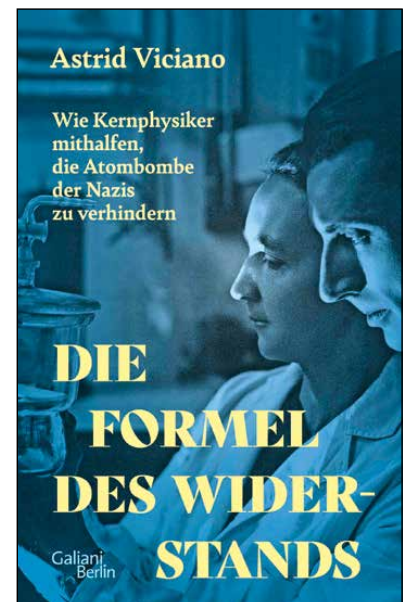
Helmut Hornung



Adam Frank  
*Leben im All*  
286 Seiten, Heyne  
18,00 Euro

## RISKANTES KALKÜL

Paris, 1940: Die deutsche Wehrmacht besetzt die französische Hauptstadt und beordert den Physiker Wolfgang Gentner, den späteren Gründungsdirektor des Heidelberger Max-Planck-Instituts für Kernphysik, nach Paris. Er soll das Labor von Frédéric und Irène Joliot-Curie mit dem dazugehörigen Zyklotron im Blick behalten. Dort vermutet das NS-Regime Erkenntnisse über Uran, eine wichtige Zutat für die Atombombe. Was die Nazis jedoch nicht wissen: Der Wissenschaftler und das Forschungspaar sind seit vielen Jahren befreundet. In *Die Formel des Widerstands* schildert Astrid Viciano fesselnd das riskante Taktieren Wolfgang Gentners. Sie gibt tiefe Einblicke in sein Leben und zeichnet ihn zwar als unpolitischen und wissenschaftlich fokussierten Menschen, der sich gerne bedeckt hielt. Doch agierte er stets geradlinig und ließ sich nicht zum Opportunismus hinreißen. Das könnte erklären, warum er, auch wenn er nicht als Aktivist gegen die Nationalsozialisten auftrat, weder deren Ziele bejahte noch verfolgte und dabei große persönliche Risiken einging. Auffällig ist, dass es bei den Versuchen, die Urananreicherungsanlage in Paris in Betrieb zu



nehmen, immer wieder zu Pannen und technischen Fehlern kam. Es gilt als wahrscheinlich, dass die Joliot-Curies das Experiment aktiv sabotierten. Auch soll es eine Absprache mit Gentner gegeben haben, dass am Pariser Zyklotron keine kriegswichtigen Experimente durchgeführt werden sollten. Ob aktiv oder passiv: Gemeinsam haben die drei die kriegsrelevante Kernforschung hinausgezögert und den deutschen Weg zur Atombombe erschwert.

Tobias Beuchert

Astrid Viciano  
*Die Formel des Widerstands*  
240 Seiten, Galiani  
26,00 Euro



# FÜNF FRAGEN

## ZUR POLITISCHEN MEINUNGSBILDUNG IN DEN SOZIALEN MEDIEN

AN PHILIPP LORENZ-SPREEN

**Demokratien befinden sich weltweit in der Krise. Polarisierung oder Misstrauen gegen Institutionen haben zugenommen. Lässt sich das auf soziale Medien zurückführen?**

78 PHILIPP LORENZ-SPREEN Ja, solche Zusammenhänge sind aus meiner Sicht nicht von der Hand zu weisen. Die negativen Entwicklungen von liberalen Demokratien, wie sie etwa das renommierte V-Dem Institut in Schweden dokumentiert, fallen zeitlich mit der weltweiten Nutzung großer kommerzieller Plattformen vor 15 Jahren zusammen. Zeitgleich veränderten sich auch andere Faktoren, etwa wachsende finanzielle Ungleichheit oder Migrationsbewegungen. Ich sehe darin aber kein Entweder-oder, sondern ein Zusammenwirken der Faktoren. Soziale Medien spielen eine verstärkende, vielleicht sogar entscheidende Rolle.

**Lässt sich die Gefährdung von Demokratien durch soziale Medien belegen?**

Für einen erstmaligen Überblick haben wir 2023 systematisch über 500 Studien zu diesem Thema und ihre Messmethoden ausgewertet; diese Untersuchung wurde auch gerade erst von einem unabhängigen Team wiederholt und bestätigt. Viele Studien zeigen, dass spaltende, emotionale und negative Inhalte auf Plattformen besonders erfolgreich sind. Zudem sind populistische Akteurinnen und Akteure mit diesen Inhalten besonders erfolgreich und erzielen mehr Sichtbarkeit als gemäßigte Vertreter; sie ge-

winnen zugleich auch Stimmen bei Wahlen. Umfragen zeigen auch, dass Menschen, die soziale Medien nutzen, polarisierter sind, politisch extremer und weniger Vertrauen in Institutionen haben. Manche Mechanismen zwischen diesen Faktoren müssen noch genauer verstanden werden, soziale Medien sind komplexe Systeme mit vielen Interaktionen. Alles in Allem sehe ich eine besorgniserregende Evidenzlage.

**Wie lässt sich Gefährdung messen?**

Die Digitalisierung hat nicht nur wichtige Fragen aufgeworfen, sondern auch neue Methoden zur Quantifizierung hervorgebracht. Wir verwenden computergestützte Messmethoden und analysieren etwa Echtzeit-Postings, um Verbreitung, Funktionsweise der Algorithmen oder den Einfluss von Netzwerkstrukturen zu messen. In Feldexperimenten verknüpfen wir solche Daten mit Meinungsumfragen oder Verhaltensdaten. Während viele Studien Korrelationen aufzeigen, ermöglichen es aufwendige Methoden mit verknüpften Daten sogar, Kausalitäten abzuleiten. Zum Beispiel stieg die Polarisierung an Orten dann, nachdem dort Zugang zu Breitband-Internet möglich wurde. Solche Studien gibt es jedoch noch zu wenige.

**Ist es Aufgabe der Wissenschaft, die Debattenqualität auf Plattformen zu beobachten?**

Ich sehe es als unsere Aufgabe an, Polarisierung, Diskursverschiebung und Gefahren

für die Demokratie zu beobachten und sie auch in Bezug auf die Werte der liberalen Demokratie einzuordnen. Zudem nimmt der Digital Services Act die Wissenschaft bei diesem Thema besonders in die Verantwortung. Er sieht vor, dass in der EU große Plattformen und Suchmaschinen Forschenden Zugang zu Daten zur Untersuchung von „systemischen Risiken“, etwa die Verbreitung illegaler Inhalte, gezielter Falschinformation und Hass sowie Gefahren für Gesundheit und Minderjährige, zu gewähren haben. Aus diesen empirischen Ergebnissen Konsequenzen zu ziehen ist Aufgabe der Politik.

**Wie klappt der Zugang zu den Daten in der Praxis? Zuletzt mussten sich Wahlbeobachter den Zugang vor Gericht erstreiten.**

Hier ist die Wissenschaft klar im Nachteil, da der Zugang nur selten gewährt wird. Zugleich gibt es noch zu wenige Forschende, die solche Daten auswerten und über die Disziplinen und global koordiniert zusammenarbeiten. Hier braucht es mehr Ressourcen, Organisation und Expertise – neben einer konsequenten Umsetzung der Regeln für Plattformen.

*Interview: Michaela Hutterer*

Philipp Lorenz-Spreen ist Nachwuchsgruppenleiter „Computational Social Science“ an der TU Dresden und forscht am Max-Planck-Institut für Bildungsforschung in Berlin.

- 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)

**Redaktion**

Dr. Tobias Beuchert (Astronomie, Physik, Technik; -1404)  
Michaela Hutterer (Kultur, Gesellschaft; -2617)  
Dr. Elke Maier (Biologie; -1064)  
Dr. Harald Rösch (Biologie, Medizin; -1756)  
Franziska Schulze (Kultur, Gesellschaft; -1957)

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

**Bildredaktion**

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

**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**

Philipp Bender  
Bertelsmann Marketing Services  
Tel: 49 173 60 55 713  
philipp.bender@bertelsmann.de

MaxPlanckForschung 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 allgemein verständlich aufzubereiten. Das Heft erscheint in deutscher und in englischer Sprache (*MaxPlanckResearch*) jeweils mit vier Ausgaben pro Jahr. Die Auflage dieser Ausgabe beträgt 75 000 Exemplare (*MaxPlanckResearch*: 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 *MaxPlanckForschung* 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 84 Institute und Forschungseinrichtungen, in denen rund 24 000 Personen forschen und arbeiten, davon etwa 13 000 Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler. Im Jahr 2023 betrug die Grundfinanzierung durch Bund und Länder 2,1 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.

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



Die MaxPlanckForschung  
kostenfrei abonnieren:



**MAX PLANCK**  
GESELLSCHAFT

