

Ausgabe 04 | 2020

MAX PLANCK

Forschung

ZELLBIOLOGIE

Faltkunst mit Erbgut

EISENFORSCHUNG

Energiewende im Hochofen

GRAVITATIONSPHYSIK

Dicker Fisch schlägt mächtig Wellen



SO ODER ANDERS



FOTO: SCIENCE PHOTO LIBRARY/FRANS LANTING, MINT IMAGES

Kein Einerlei: Vogeleier weisen eine erstaunliche Bandbreite an Größen, Farben, Mustern und auch Formen auf. Ob ein Ei eher gleichmäßig oval oder eher asymmetrisch geformt ist, hängt mit den Flugfähigkeiten einer Vogelart zusammen: Die Eier guter Flieger sind eher länglich mit ausgeprägter Spitze. Dass kein Ei dem anderen gleicht und in der Natur die Vielfalt regiert, mag eine Binsenweisheit sein. Umso spannender ist hingegen die Suche nach den Ursachen und nach der Erklärung für den kleinen (oder großen!) Unterschied. Dieses Bestreben eint Fächer wie etwa Biologie, Anthropologie oder Astronomie.

EDITORIAL

Liebe Leserin, lieber Leser

„Wie ein Ei dem anderen“, sagt man so leichthin. Doch nur die Eier von Hybridhühnern in der industrialisierten Landwirtschaft gleichen einander in diesem Maße. In der Natur herrscht Vielfalt – ein Variantenreichtum, der uns erstaunt, fasziniert und manchmal auch verwirrt. In unserer standardisierten Lebenswelt sind wir von Dingen in millionenfach identischer Ausführung umgeben. Vielfalt zu begreifen, ihren Wert zu erkennen und trotz der Unterschiede das Gemeinsame wahrzunehmen, ist alles andere als banal.

Für die Wissenschaft ist Vielfalt von jeher eine Herausforderung, wie der „Fokus“ dieses Hefts zeigt. Klassisches Beispiel ist die Bestimmung von Arten in der Biologie. Betrachtet man etwa bei Pflanzen nur das Aussehen der Blätter, kann das leicht in die Irre führen. Selbst nah verwandte Gewächse haben teilweise sehr unterschiedlich geformte Blätter. Genetische Analysen helfen nun, dem Geheimnis der Blattformen auf die Spur zu kommen.

Nicht nur die Natur ist vielfältig, auch die Menschheit hat eine Vielzahl von Kulturen entwickelt, die unsere Wahrnehmung und unser Handeln unterschiedlich prägen – ein Phänomen, das bisher in der psychologischen Forschung kaum beachtet wurde. Kulturvergleichende Studien zielen nun darauf ab, die Vielfalt zu dokumentieren und jenseits aller Besonderheiten das spezifisch Menschliche zu erkennen.

Auch für den Formenreichtum außerhalb unseres Planeten hat die Wissenschaft eine Systematik geschaffen. In der Astronomie leistete Edwin Hubble Mitte der 1920er-Jahre Pionierarbeit, als er die Galaxien im Weltraum nach bestimmten Kriterien ordnete. Heute erkunden Forschende, welche Rolle die dunkle Materie für die unterschiedlichen Typen von Milchstraßensystemen spielt.

Wir hoffen, Sie finden für sich in der Vielfalt unserer Themen viel Lesenswertes, und wünschen spannende Lektüre!

Ihr Redaktionsteam



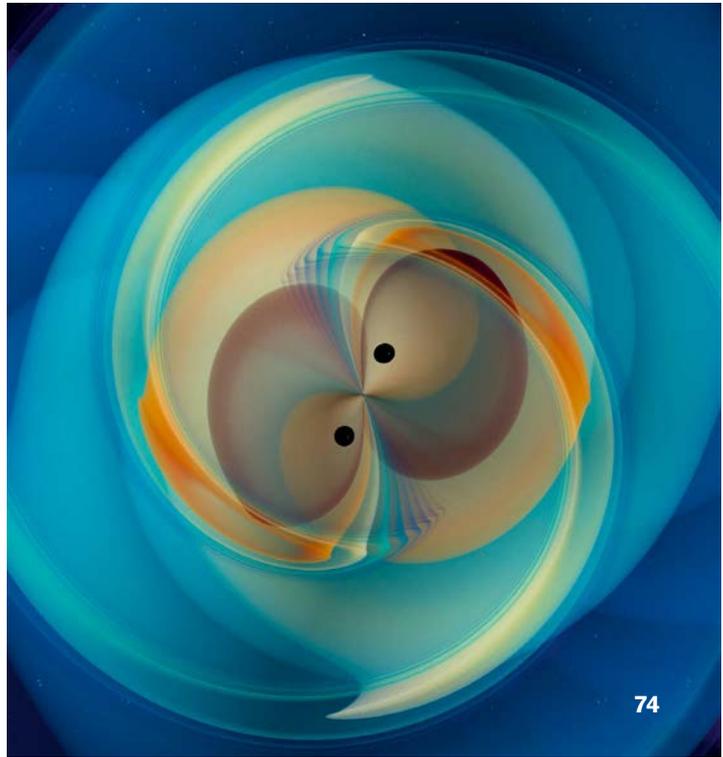
38



48



66



74

38 | EINGERICHTET

Unterschiedliche Blattformen zeugen von einer klugen Anpassung an die Umwelt.

48 | EINGESPANNT

Viola Priesemann reitet gerne, doch momentan findet sie kaum Zeit für die Ponys.

66 | EINGESPART

Stahl aus der Öoschmiede lässt sich mit geringerem Ausstoß an CO₂ produzieren.

74 | EINGEFANGEN

Den Detektoren gehen immer wieder Gravitationswellen von schwarzen Löchern ins Netz.

FOTOS: ADOBESTOCK (LINKS OBEN); JULIA STEINIGEWEG (RECHTS OBEN); PICTURE ALLIANCE/RUPERT OBERHAUSER (LINKS UNTEN); N. FISCHER, H. PFEIFFER, A. BUONANNO/MPI FÜR GRAVITATIONSPHYSIK, SIMULATING EXTREME SPACETIMES (SNS) COLLABORATION (RECHTS UNTEN)

03 | EDITORIAL

06 | ORTE DER FORSCHUNG

Ein Nistkasten im Westerholz bei Landsberg am Lech

08 | KURZ NOTIERT

18 | ZUR SACHE

Wächterin in den Zeiten von Corona

Der Kampf gegen Covid-19 scheint vor allem auf nationaler Ebene stattzufinden, während die Weltgesundheitsorganisation WHO in der Öffentlichkeit wenig sichtbar ist und immer wieder in der Kritik steht.

IM FOKUS

So oder anders

24 | Wir Kulturmenschen

Wie Menschen handeln und denken, hängt vielfach von ihrer gesellschaftlichen Prägung ab. Daher variieren Verhaltensweisen rund um den Globus zum Teil enorm. Nur wenn wir die Unterschiede und Gemeinsamkeiten kennen, können wir letztlich die Eigenschaften bestimmen, die uns als Menschen ausmachen.

30 | Geburtshelfer im Galaxienzoo

Sterne sammeln sich in Galaxien mit völlig unterschiedlichen Formen und Größen. Es gibt elliptische, kugel-, linsen- und spiralförmige Sternsysteme, manche haben gar keine regelmäßige Gestalt. Was sind die Ursachen? Und welche Rolle spielt die dunkle Materie?

38 | Vielfalt im Blätterwald

Lanzettlich, eiförmig, elliptisch, ganzrandig, gesägt, einfach oder mehrfach gefiedert – die Vielfalt der Blätter hat viele Namen. Forschende fahnden nach den Ursachen dieser Mannigfaltigkeit. Ein zentrales Steuerelement haben sie schon gefunden.

46 | INFOGRAFIK

Schwarze Löcher – Fallen in der Raumzeit

48 | BESUCH BEI

Viola Priesemann
Von Corona angesteckt

WISSEN AUS

56 | Faltkunst mit Erbgut

Was ist Leben? Wie ist es entstanden? Um Antworten zu bekommen, verfolgen Forschende einen ehrgeizigen Plan: Sie wollen künstliche Zellen schaffen und auf diese Weise herausfinden, was für das Leben unerlässlich ist.

60 | Vorsicht, giftiges Grün!

Nicht alles, was in der Natur grünt, ist gut. Einige Pflanzen verfügen über Gifte, die uns krank machen oder gar töten können. Welche Verhaltensweisen schützen Kinder vor gefährlichen Pflanzen?

66 | Energiewende im Hochofen

Metalle sind aus unserem Leben nicht wegzudenken. Wie lassen sie sich nachhaltiger herstellen und einsetzen? Die Konzepte könnten die Industrie gehörig umkrempeln.

74 | Dicker Fisch schlägt mächtig Wellen

Astronomen haben ein schwarzes Loch mit der 85-fachen Masse unserer Sonne aufgespürt – das eigentlich gar nicht existieren dürfte. Was steckt dahinter?

78 | Wald wandelt das Klima

Die Wissenschaft streitet darüber, ob der Wald dem Klimaschutz mehr dient, wenn er nachhaltig bewirtschaftet wird oder wenn er sich selbst überlassen bleibt.

86 | POST AUS...

Ghana

88 | NEU ERSCIENEN

90 | FÜNF FRAGEN

Zu künstlicher Intelligenz in der Medikamentenforschung

91 | IMPRESSUM

TECHMAX

Nachwachsende Nanowelt – Cellulose-Kristalle werden zum grünen Zukunftsmaterial



*SMART HOME
IM LICHTEN LAUBWALD*



ORTE DER FORSCHUNG



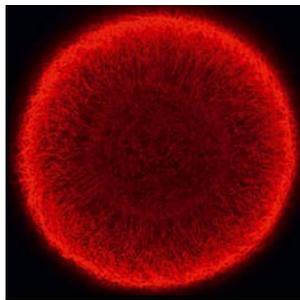
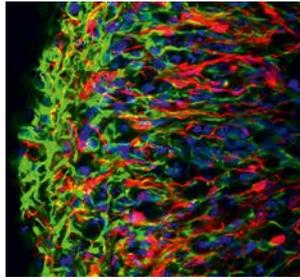
FOTO: JULIUS KRAMER

Die große Doppelnull führt in die Irre – steht die Bezeichnung auf dem Hotelflur traditionell doch eher für das „stille Örtchen“. Und still geht es hier ganz und gar nicht zu. Die Bewohner stört das nicht – im Gegenteil. Sie sind froh, so ein komfortables und sicheres Zuhause für die neue Familie gefunden zu haben. Blaumeisen haben im Westerholz, einem Mischwaldgebiet in Süddeutschland, eine „Smart Nest Box“ des Max-Planck-Instituts für Ornithologie bezogen. Die Jungen sind geschlüpft und wollen gefüttert werden, die Eltern haben gut zu tun! Mithilfe der Smart Nest Box können die Ornithologen genau verfolgen, wer wann im Nest ein und aus geht. Ein RFID Data Logger System erfasst Anwesenheit und Identität der Elterntiere, und zwar 24 Stunden am Tag, sieben Tage die Woche. Die Vögel tragen winzige implantierte Transponder und werden dadurch individuell erkannt. Gekoppelt mit einer Uhr und zwei Infrarot-Lichtschranken wird so für jeden der brütenden Vögel ein genaues Aktivitätsprofil erstellt.

7

Ein Blaumeisenpaar zieht in der Regel die Jungen gemeinsam auf, beide Partner können aber zusätzliche Sexualkontakte haben. In den letzten Jahren hat sich gezeigt, dass dies bei Blaumeisen weit häufiger vorkommt als angenommen. Welchen evolutionären Vorteil könnten „Kuckucksjunge“ haben? Mithilfe der Smart Nest Box fanden die Forschenden bereits heraus, dass diese Jungen früher schlüpfen und kräftiger sind als ihre Halbgeschwister. Zudem stammen nur selten alle Jungvögel in einem Nest von einem fremden Vater. In einigen dieser Fälle war der soziale Partner unfruchtbar. „Außer-eheliche“ Kopulationen könnten also eine Art Versicherung gegen Unfruchtbarkeit sein.

Oben: Mittelhirn-Organoid im Mikroskop. Unten: gesamtes Organoid (rot: junge Nervenzellen)



GRAFIK: MPI FÜR MOLEKULARE BIOMEDIZIN/HENRIK RENNERT, JAN BRUDER

ORGANOIDE AUS DEM AUTOMATEN

Für ein einziges Medikament müssen manchmal Hunderttausende Wirkstoffe in zeitaufwendigen und teuren Experimenten getestet werden. Die automatisierte Produktion organähnlicher Gewebe, sogenannter Organoid, soll zukünftig die Entwicklung neuer Medikamente beschleunigen. Organoid entstehen, wenn aus Körperzellen gewonnene Vorläuferzellen unter besonderen Kulturbedingungen dreidimensionale Gewebeklumpen bilden. Diese ahmen die charakteristischen Eigenschaften des Gewebes besser nach als herkömmliche Zellkulturen. Die Technologietransfer-Gesellschaft Max-Planck-Innovation hat der amerikanischen Biotech-Firma StemoniX nun eine Lizenz für ein Verfahren erteilt, das ein Team am Max-Planck-Institut für molekulare Biome-

dizin in Münster entwickelt hat. Damit lassen sich Organoide automatisiert herstellen, die dem menschlichen Mittelhirn ähneln – einem Gehirnteil, in dem bei Parkinson-Patienten Dopamin produzierende Nervenzellen zuerst absterben. Pro Tag können die Forschenden so bis zu 20000 Gehirn-Organoid erzeugen und testen. Zum Vergleich: Manuell lassen sich täglich maximal ein paar Hundert herstellen – die sich zudem stark voneinander unterscheiden und aus diesem Grund nicht für Medikamententests geeignet sind. StemoniX möchte mit den Organoiden gewährleisten, dass seine Partner nur die sichersten und wirksamsten Wirkstoffe gegen Erkrankungen wie Parkinson weiterentwickeln.

www.mpg.de/15967889

8

AUSGEZEICHNET ★

ASIFA AKHTAR

Einer der Leibniz-Preise der Deutschen Forschungsgemeinschaft geht an die Direktorin am Max-Planck-Institut für Immunbiologie und Epigenetik in Freiburg. Damit wird Akhtar unter anderem für ihre zellbiologischen Arbeiten zu Mechanismen der epigenetischen Genregulierung und zum Verständnis der Chromosomenregulation, der sogenannten Dosiskompensation, ausgezeichnet. Asifa Akhtar ist seit Juli 2020 auch Vizepräsidentin der Max-Planck-Gesellschaft.



FOTO: WOLFRAM SCHEIBLE FÜR MPG

VOLKER SPRINGEL

Einen weiteren Leibniz-Preis erhält der Direktor am Max-Planck-Institut für Astrophysik in Garching. Springel wird für seine Arbeiten auf dem Gebiet der Numerischen Astrophysik ausgezeichnet. Er entwickelte neue Methoden, die unter anderem erklären, wie der vielfältig strukturierte Kosmos aus einem frühen, nahezu gleichförmigen Universum entstehen konnte.



FOTO: HEIDELBERGER INSTITUT FÜR THEORETISCHE STUDIEN (HITS)

ERSTER NATURE INDEX FÜR DEUTSCHLAND

Erstmals hat die Wissenschaftszeitung *Nature* eine eigene Auswertung der wissenschaftlichen Leistungen in Deutschland veröffentlicht. Deutschland sei ein Forschungsgigant, der seine Position behauptet, heißt es in dem Bericht. Eine starke und stetige Wissenschaftsförderung sowie langfristige Investitionen in die Grundlagenforschung seien der Schlüssel zum Erfolg des Landes. Allerdings könnten die mangelnde personelle Vielfalt und die langsame Anpassung an neue Forschungsrichtungen eine Herausforderung für die künftige Forschungsbilanz sein. Für den Nature Index Germany wurde gezählt, wie häufig eine Einrichtung in Qualitätszeitschriften publiziert hat. Innerhalb Deutschlands stehen drei außeruniversitäre Forschungseinrichtungen an der Spitze: die Max-Planck-Gesellschaft, gefolgt von der Helmholtz- und der Leibniz-Gemeinschaft. Auf den Plätzen vier und fünf stehen die beiden Münchner Universitäten.



STARTSCHUSS FÜR MUNICH QUANTUM VALLEY

Ein Quantencomputer, abhörsichere Kommunikationsverfahren sowie grundlegende Elemente der Quantentechnologie – das sind einige der Ziele, die Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler künftig im Munich Quantum Valley verfolgen werden. Der bayerische Ministerpräsident Markus Söder, die Minister Hubert Aiwanger und Bernd Sibler sowie die Präsidenten Thomas O. Höllmann (Bayerische Akademie der Wissenschaften), Reimund Neugebauer (Fraunhofer-Gesellschaft), Bernd Huber (Ludwig-Maximilians-Universität München), Martin Stratmann (Max-Planck-Gesellschaft) und Thomas F. Hofmann (Technischen Universität München) haben die Forschungsinitiative mit einer Absichtserklärung gestartet. Bayern gibt für die Quantenwissenschaft und -technologie in den kommenden zwei Jahren 120 Millionen Euro Anschubfinanzierung, mit denen unter anderem ein Technologiepark eingerichtet wird. Derart gestärkt will sich das Munich Quantum Valley auch um eine Förderung des Bundes bewerben, der für Quantentechnologien zwei Milliarden Euro aus dem Zukunftspaket Deutschland bereitgestellt hat. www.mpg.de/16243526

Weiter Weg: Im Herbst 2015 flüchteten viele Menschen zu Fuß über den Balkan nach Mitteleuropa. Seither ringen die EU-Länder um einen gemeinsamen Kurs in der Asylpolitik.

DIE FAKTEN BEACHTEN

Fünf Jahre nach dem „langen Sommer der Migration“ im Jahr 2015 hat die Wissenschaftsinitiative „Herausforderungen von Migration, Integration und Exklusion“ der Max-Planck-Gesellschaft ihren Forschungsbericht vorgelegt. Aus den Erkenntnissen haben die Forschenden acht Empfehlungen abgeleitet und in einem Positionspapier für die Politik zusammengefasst. Angesichts der globalen Herausforderungen, die der Klimawandel, die Globalisierung und der demografische Wandel mit sich bringen, sei es nicht nur bedauerlich, sondern auch gefährlich,

dass sich die aktuelle Migrationsdiskussion im Wesentlichen um irreguläre Migration und den Asylbereich drehe, heißt es in dem Papier. Stattdessen solle sich die Politik an Fakten orientieren. Auf nationaler Ebene schlagen die Forschenden eine Vereinheitlichung des zersplitterten rechtlichen Rahmens sowie eine stärkere Beteiligung der Kommunen vor. Innerhalb der Europäischen Union sei es wichtig, die Blockade in der Asylfrage zu überwinden und die Politik im Einklang mit den Menschenrechten zu gestalten.

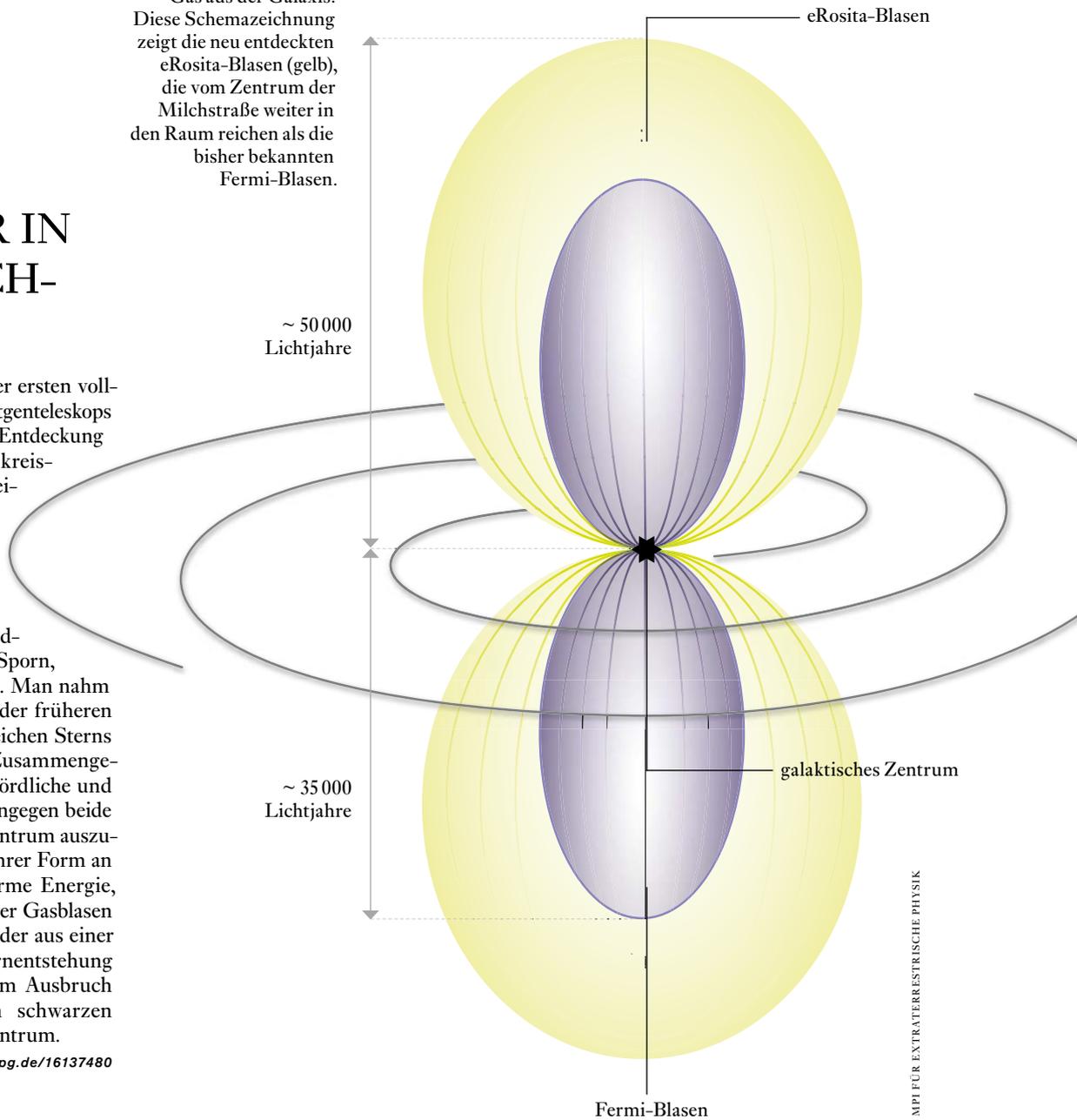
www.mpg.de/16155241

EINE SANDUHR IN DER MILCHSTRASSE

Astronomen haben in der ersten vollständigen Karte des Röntgenteleskops eRosita eine auffallende Entdeckung gemacht: eine riesige, kreisrunde Struktur aus heißem Gas unterhalb der Milchstraßenebene, die den größten Teil des südlichen Firmaments einnimmt. Eine ähnliche Wolke am Nordhimmel, der Nordpolar-Sporn, ist seit Langem bekannt. Man nahm an, dass die Wolke von der früheren Explosion eines massereichen Sterns (Supernova) stammt. Zusammengekommen scheinen die nördliche und die südliche Struktur hingegen beide aus dem galaktischen Zentrum auszutreten und erinnern in ihrer Form an eine Sanduhr. Die enorme Energie, die für die Entstehung der Gasblasen nötig war, könnte entweder aus einer Periode intensiver Sternentstehung stammen oder aus einem Ausbruch am supermassereichen schwarzen Loch im galaktischen Zentrum.

www.mpg.de/16137480

Gas aus der Galaxis: Diese Schemazeichnung zeigt die neu entdeckten eRosita-Blasen (gelb), die vom Zentrum der Milchstraße weiter in den Raum reichen als die bisher bekannten Fermi-Blasen.



GRAFIK: GCO NACH MPI FÜR EXTRATERRESTISCHE PHYSIK

EIN RISIKORECHNER FÜR COVID-19

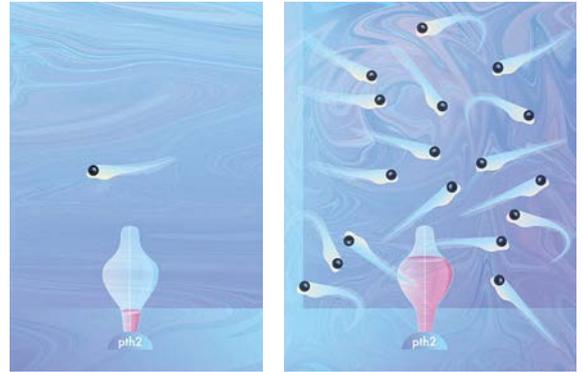
Wie hoch das Risiko ist, sich in einem geschlossenen Raum über winzige Aerosole mit dem Coronavirus Sars-CoV-2 anzustecken, lässt sich jetzt mit einem Computerprogramm ermitteln. Das Modell, das Forschende des Mainzer Max-Planck-Instituts für Chemie entwickelt haben, schätzt aus

Parametern wie der Größe des Raumes, der Zahl der Personen darin und deren Aktivität sowohl das Risiko ab, dass sich jemand in dem Raum mit dem Virus infiziert, als auch das Ansteckungsrisiko für eine einzelne Person. Der Algorithmus gibt zudem an, wie stark das Risiko sinkt, wenn Perso-

nen etwa Masken tragen oder der Raum regelmäßig gelüftet wird. Er erlaubt allerdings keine Aussagen über das Risiko, sich auf kurze Distanz durch größere Tröpfchen anzustecken. Der Algorithmus ist auf der Webseite des Instituts für die Öffentlichkeit nutzbar.

www.mpg.de/16010536

Ein Maß für Geselligkeit: An der Produktion eines Hormons im Zebrafischhirn lässt sich ablesen, ob das betreffende Tier von vielen Artgenossen umgeben ist.



GRAFIK: MPI FÜR HIRNFORSCHUNG/J. KUHL

DIE BAUSTEINE FÜR SOZIALES VERSTÄNDNIS

Durch Empathie und dadurch, dass wir die Perspektive anderer Menschen einnehmen können, sind wir in der Lage nachzuvollziehen, was im Kopf eines anderen vorgeht. Allerdings ist noch immer unklar, was beide Fertigkeiten ausmacht. Auf Basis bisheriger Studien haben Forschende des Max-Planck-Instituts für Kognitions- und Neurowissenschaften und anderer Institutionen ein Erklärungsmodell entwickelt, das zeigt: Beide Fähigkeiten ergeben sich aus vielen Einzelfaktoren, die sich je nach Situation unterscheiden. Für Empathie arbeitet demnach ein Hauptnetzwerk, das akut bedeutsame Situationen erkennt, indem es etwa Angst verarbeitet, mit spezialisierten zusätzlichen Regionen zusammen,

beispielsweise mit Arealen für Gesichts- oder Spracherkennung. Beim Wechseln der Perspektive sind als Kernnetzwerk dieselben Regionen aktiv, die auch beim Erinnern oder bei Zukunftsvorstellungen zum Einsatz kommen. Auch hier schalten sich in der konkreten Situation zusätzliche Hirnregionen hinzu. Besonders komplexe soziale Probleme erfordern zudem eine Kombination aus Empathie und Perspektivwechsel. Die Analyse zeigt: Bei einem Mangel an einer der beiden Fertigkeiten muss nicht die Sozialkompetenz als Ganzes begrenzt sein. Womöglich ist nur ein bestimmter Teilfaktor betroffen, zum Beispiel das Verständnis von Mimik oder Sprachmelodie.

www.mpg.de/16022689



FOTO: SHUTTERSTOCK

SOCIAL DISTANCING IM FISCHGEHIRN

Soziale Isolation kann gravierende Auswirkungen auf Menschen und Tiere haben. Ein internationales Forschungsteam, darunter auch Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler des Max-Planck-Instituts für Hirnforschung, hat untersucht, was Alleinsein im Gehirn von Zebrafischen auslöst. Die Forschenden haben dafür die Aktivität Tausender Gene gemessen. Unter den wenigen Genen mit veränderter Aktivität war auch das Gen für das „Nebenschilddrüsenhormon 2“. Es wirkt wie ein Messgerät des sozialen Umfelds: Je mehr Artgenossen sich in der Umgebung eines Tiers befinden, desto mehr Hormon wird in seinem Gehirn gebildet. Wird ein einzeln gehaltener Zebrafisch in ein Becken mit Artgenossen gesetzt, steigt der Wert dieses Nebenschilddrüsenhormons schon nach kurzer Zeit an. Den Forschenden zufolge wird die Produktion des Neurohormons vom Seitenlinienorgan gesteuert – eines Bandes von Sinneszellen, die auf mechanische Reize ansprechen und mit denen die Fische die Schwimmbewegungen ihrer Artgenossen erspüren.

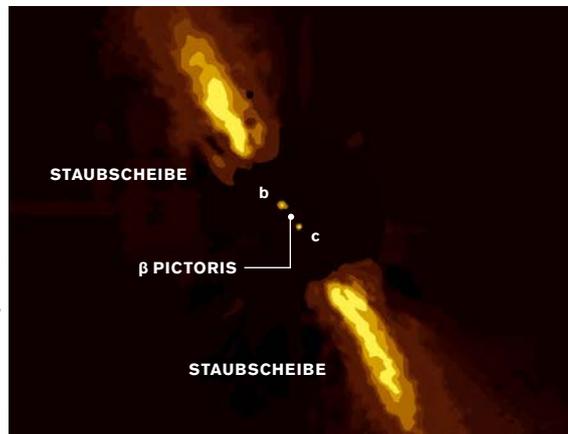
www.mpg.de/16108375/1202

Tiefes Verständnis: Viele Einzelfaktoren befähigen uns dazu, uns in eine andere Person hineinzusetzen. Sie können sich je nach Situation unterscheiden.

12 PORTRÄT EINES EXO- PLANETEN

Die allermeisten Planeten bei fremden Sternen entdecken die Astronomen mithilfe ausgeklügelter Methoden. Dabei erscheint der Exoplanet nicht im Bild, sondern verrät sich indirekt. Ein beliebtes Verfahren ist die Messung der Radialgeschwindigkeit: Weil ein Planet an seinem sehr viel helleren Mutterstern zerrt wie ein angeleinter Hund an seinem Herrchen, macht der Stern sozusagen Ausfallschritte, das heißt mit einer bestimmten Geschwindigkeit periodische Bewegungen. Diese zeigen sich an einer minimalen Verschiebung der Spektrallinien – was wiederum Rückschlüsse auf die Existenz des Planeten erlaubt. Jetzt ist einem Team mit Forschenden der Max-Planck-Institute für Astronomie sowie für extraterrestrische Physik die erste direkte Beobachtung eines Exoplaneten gelungen, der zuvor mit dieser Methode entdeckt worden war. Das schwache Leuchten des rund 63 Lichtjahre von der Erde entfernten Objekts β Pictoris c ließ sich mit dem Instrument Gravity nachweisen, welches die vier großen Spiegel der Europäischen Südsternwarte zu einem virtuellen Superfernrohr von 130 Meter Durchmesser zusammenschaltet.

www.mpg.de/15463694



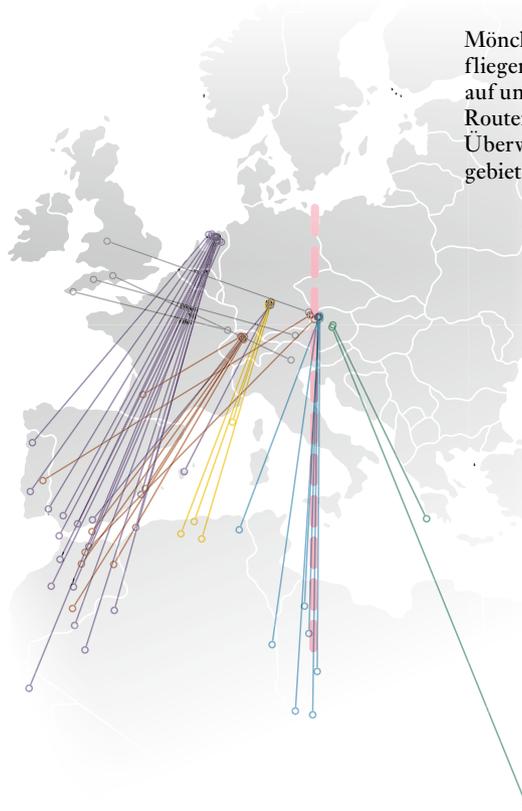
Fremde Welten: Diese schematische Ansicht zeigt das β -Pictoris-System mit den beiden in einer Staubscheibe eingebetteten Planeten b und c. Diese Ansicht wurde auf der Basis tatsächlicher Beobachtungsdaten erstellt.

Mönchsgrasmücken fliegen im Herbst auf unterschiedlichen Routen in ihre Überwinterungsgebiete.

FLEXIBLE FLUGROUTEN

Wie viele andere Zugvögel ziehen auch Mönchsgrasmücken im Herbst Tausende von Kilometern Richtung Süden, um dort zu überwintern. Im östlichen Mitteleuropa lebende Tiere ziehen Richtung Südosten, weiter westlich lebende nach Südwesten. Aus Kreuzungsexperimenten weiß man, dass die Elternvögel die Zugrichtung an ihre Nachkommen vererben. Forschende des Max-Planck-Instituts für Evolutionsbiologie in Plön haben nun die Flugrouten von 100 frei lebenden Mönchsgrasmücken verfolgt und dabei entdeckt, dass Tiere aus dem Grenzgebiet zwischen West- und Ostziehern einen „Mittelweg“ wählen: Sie fliegen direkt nach Süden und überqueren die Alpen, das Mittelmeer und zum Teil auch die Sahara erfolgreich und kehren im Frühjahr wieder in ihr Brutgebiet zurück. Das auch als Zugscheide bezeichnete Gebiet, in dem sich West- und Ostzieher miteinander vermischen, ist mit rund 30 Kilometern Breite überraschend schmal. Es verläuft zwischen Berlin und Prag in Nord-Süd-Richtung quer durch Mitteleuropa. Außerdem zeigen die Ergebnisse, dass Mönchsgrasmücken, die in Großbritannien überwintern – ein Verhalten, das seit den 1960er-Jahren immer häufiger beobachtet wird –, aus ganz Europa kommen. Diese Tiere profitieren wahrscheinlich von den immer mildereren Wintern und der Fütterung in britischen Gärten.

www.mpg.de/15986238



GRAFIK: GCO

ZÄHNE MIT SOLLBRUCHSTELLEN

Der Biss auf einen Kirschkern kann übel enden. Im schlimmsten Fall bricht dabei ein Zahn, und ein Besuch beim Zahnarzt steht an. Für den Port-Jackson-Stierkopfhai sind splinternde Zähne dagegen ganz normal, wie ein Team um Shahroutz Amini am Max-Planck-Institut für Kolloid- und Grenzflächenforschung in Potsdam herausgefunden hat. Die Forschenden können erklären, warum die Zähne des Hais trotzdem spitz bleiben: Sein Zahnschmelz ist aus einer äußeren und einer inneren Schicht aufgebaut, die beide aus Apatit bestehen. Im äußeren Zahnschmelz, der die Seiten des Zahnes bedeckt, verlaufen alle Apatitbündel parallel zur Zahnoberfläche. Zwischen den Bündeln ergeben sich Sollbruchstellen. Im inneren Zahnschmelz, der an der Spitze an die Oberfläche kommt, liegen die Apatitbündel kreuzweise übereinander, sodass das Material nicht splittert. Allerdings wird die Spitze des Zahns allmählich abgeschliffen. Da aber auch immer wieder Teile des seitlichen Zahnschmelzes abbrechen, bleibt der Zahn spitz. Die Erkenntnisse können als Inspiration für neuartige Materialien dienen.

www.mpg.de/16185844



Revolvergebiss: Der Port-Jackson-Stierkopfhai verfügt über mehrere Zahnreihen, die sich ständig erneuern. Ihre rote Farbe erhalten die Zähne von Seeigeln, einer häufigen Beute des Hais.

FOTO: MPI FÜR KOLLOID- UND GRENZFLÄCHENFORSCHUNG/NATURE COMMUNICATIONS 2020

GROSSFAMILIE ODER KINDERLOS

Überraschende Zusammenhänge zwischen dem Kinderwunsch in jungen Jahren, dem Bildungsniveau, dem Zeitpunkt der ersten Heirat und der tatsächlichen Zahl eigener Kinder im Alter von 43 Jahren haben Natalie Nitsche am Max-Planck-Institut für demografische Forschung und eine Kollegin am Beispiel der USA gefunden: Akademikerinnen, die sich in jungen Jahren mindestens drei Kinder wünschen, bleiben häufiger kinderlos als weniger gebildete Frauen mit gleichem Kinderwunsch – und auch als Akademikerinnen, die sich

nur zwei Kinder wünschen. Außerdem beeinflusst der Zeitpunkt der ersten Eheschließung die Anzahl der Kinder, und dies gilt auch für Männer. Wenn diese die erste feste Partnerschaft jenseits der 35 eingehen, werden sie häufig nicht mehr Väter, obwohl sie eigentlich länger Kinder bekommen können als Frauen. Eine weitere Erkenntnis: Wenn Akademikerinnen, die sich viele Kinder wünschen, relativ früh Mütter werden, dann haben sie die meisten Kinder im Studienvergleich.

www.mpg.de/16021055

Vor allem durch den Rückgang des Verkehrs führte die Corona-Pandemie weltweit zu sieben Prozent niedrigeren CO₂-Emissionen.



FOTO: RICARDO GOMEZ/UNSPLASH

13

CORONA REDUZIERT DIE CO₂-EMISSIONEN

Die Corona-Pandemie hat zu einem Rekordrückgang in den fossilen CO₂-Emissionen geführt. 2020 wurden bei der Verbrennung von Kohle, Öl und Gas weltweit 2,4 Milliarden Tonnen weniger Treibhausgas ausgestoßen als 2019. Mit sieben Prozent ist das die stärkste Reduktion seit Beginn der Industrialisierung. Zu dieser Bilanz kommt das Global Carbon Project, an dem Wissenschaftler des Max-Planck-Instituts für Biogeochemie in Jena beteiligt sind. Demnach fiel der Ausstoß vor allem im Transportsektor deutlich. Die gesamten CO₂-Emissionen, also aus der Verfeuerung fossiler Brennstoffe und aus

Veränderungen der Landnutzung wie etwa der Abholzung von Regenwäldern, lagen 2020 bei rund 39 Milliarden Tonnen CO₂. Die atmosphärische CO₂-Konzentration stieg also weniger stark als in den vergangenen Jahren, in denen, von wenigen Ausnahmen abgesehen, immer mehr Treibhausgas emittiert wurde. Damit das Ziel des Pariser Klimaabkommens, die Erderwärmung auf 1,5 Grad Celsius zu begrenzen, erreicht werden kann, müssen bis 2050 weltweit jährlich eine bis zwei Milliarden Tonnen weniger CO₂ ausgestoßen werden.

www.mpg.de/16175501

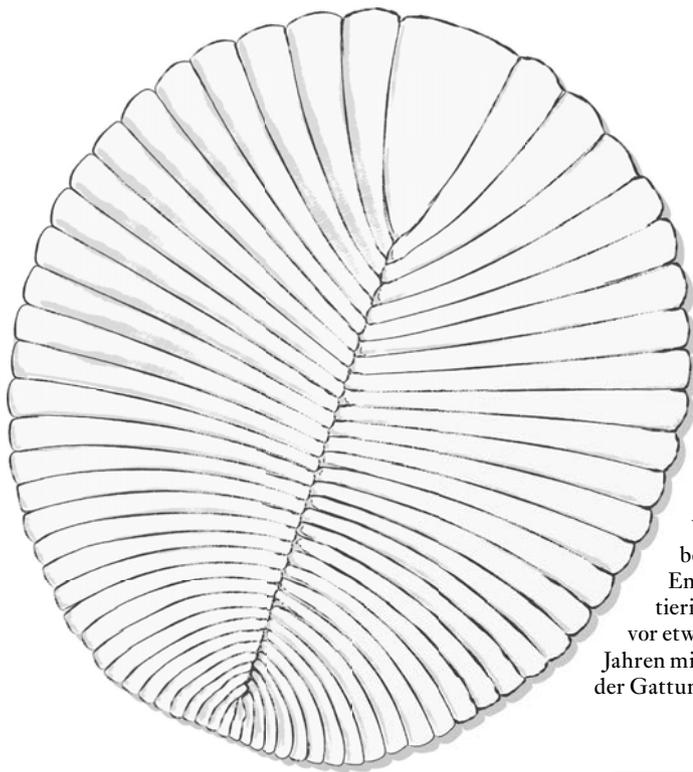
Erweitert sich die Pupille bei Aussicht auf einen Gewinn relativ schwach, so könnte dies ein Hinweis auf eine Depression sein.



FOTO: KALEA JERELLE/UNSPASH

DEPRESSION IM BLICK

Menschen mit einer Depression können sich häufig schwer motivieren. Diese Antriebslosigkeit ist jedoch schwierig zu messen. Forschende des Max-Planck-Instituts für Psychiatrie in München haben sich dafür nun zunutze gemacht, dass schon die Aussicht auf einen Gewinn die Pupillen weitet. In einer Studie konnten Probanden einen kleinen Geldbetrag gewinnen. Ein klarer Anreiz, der bei Gesunden zur Erweiterung der Pupillen führt. Dabei haben die Forscher die Pupillen der Studienteilnehmer extrem genau und in extrem hohem Tempo vermessen: Mit einem speziellen Versuchsaufbau konnten sie 250 Bilder pro Sekunde aufnehmen – zum Vergleich: Wir blinzeln nur alle vier bis sechs Sekunden. Die Messungen ergaben, dass sich die Pupillen depressiver Patienten umso schwächer weiteten, je schwerer ihre Symptome waren. Die Forschenden vermuten, dass sich das Nervensystem depressiver Patienten selbst bei einer positiven Erwartung weniger stark aktivieren kann. Dies erklärt möglicherweise teilweise die häufig beobachtete Antriebsschwäche der Patienten. Psychiatrische Erkrankungen könnten künftig anhand solch messbarer biologischer Faktoren wie der Pupillengröße in Diagnosegruppen eingeteilt werden. Depressive Patienten, deren Pupillen weniger stark reagieren, würden eine Untergruppe bilden und könnten medikamentös zielgerichteter behandelt werden. www.mpg.de/16072044



Das älteste Tier: Nach derzeitigem Wissensstand begann die Entwicklung tierischen Lebens vor etwa 560 Millionen Jahren mit Vertretern der Gattung Dickinsonia.

ILLUSTRATION: HENNING BRUER

TIERE SIND JÜNGER ALS GEDACHT

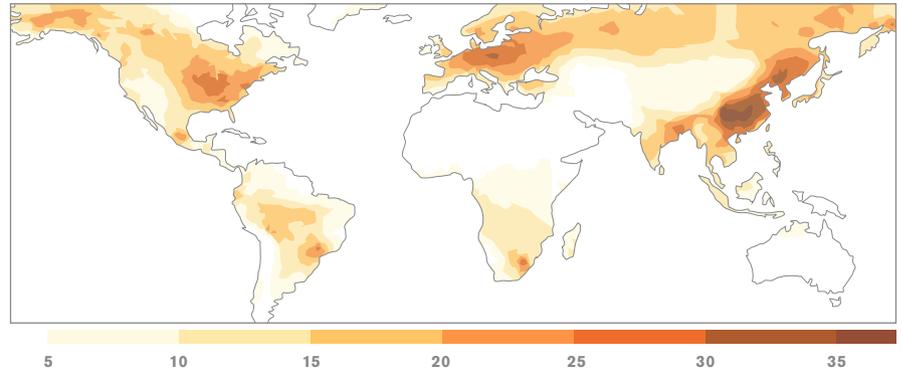
Eine langjährige Kontroverse über den Ursprung tierischen Lebens auf der Erde ist jetzt offensichtlich gelöst. Forschende des Max-Planck-Instituts für Biogeochemie in Jena haben herausgefunden, dass es sich bei fossilen Fettmolekülen, die aus 635 Millionen Jahre alten Gesteinen stammen, nicht um die frühesten Hinweise auf Tiere handelt. Wie sie in chemischen Experimenten feststellten, entstehen diese fossilen Moleküle, die Steroiden schwammartiger Tiere ähneln, vielmehr durch geologische Prozesse aus Vorläufermole-

külen gewöhnlicher Algen. Diese sind erdgeschichtlich wesentlich älter als tierische Lebensformen. Die Evolution von Tieren begann nach derzeitigem Kenntnisstand also erst vor ungefähr 560 Millionen Jahren. Mit der neuen Arbeit haben die Forschenden auch den Widerspruch aufgelöst, dass sich Tiere schon entwickelt hätten, noch bevor vor etwa 540 Millionen Jahren der Sauerstoffgehalt in den Meeren anstieg – das gilt als Voraussetzung für die Entwicklung tierischen Lebens.

www.mpg.de/16045104

KEINE FALSCHER SICHERHEIT

In der Covid-19-Pandemie müssen Politik und Bevölkerung damit klar kommen, dass wissenschaftliche Erkenntnisse stets mit Unsicherheit verbunden sind. Aber soll man darüber offen informieren? Dieser Frage sind Forschende des Max-Planck-Instituts für Bildungsforschung und der Charité-Universitätsmedizin in Berlin nachgegangen. In einer repräsentativen Umfrage legten sie den Teilnehmenden vier verschiedene Szenarien vor. Dabei hoben sie die Unsicherheiten der Vorhersage unterschiedlich deutlich hervor. Bei der Version, die die Unsicherheit am stärksten betonte, kommunizierten sie Von-bis-Werte beispielsweise zu aktuell Infizierten, Todesfällen oder dem R-Wert. Außerdem betonten sie, dass „es sich bei den beobachteten Unterschieden um eine zufällige Fluktuation handeln [kann] oder um erste Anzeichen einer zweiten Corona-Infektionswelle“. Die Version dagegen, die am wenigsten auf die Unsicherheit einging, benannte konkrete Werte und betonte, dass die Entwicklung der Zahlen „keinen Zweifel daran lässt, dass eine zweite Infektionswelle bereits begonnen hat“. Abschließend stand stets der Appell, Schutzmaßnahmen einzuhalten. Auf die Frage, welche der Versionen am besten geeignet sei, um die Bevölkerung über den Verlauf der Pandemie zu informieren, bevorzugten mehr als die Hälfte der Teilnehmenden die Formate, die Unsicherheit transportierten – der Großteil sogar die Version, in der die Unsicherheit am deutlichsten wurde. Die Fassung, die wissenschaftliche Unsicherheit aussparte, überzeugte dagegen nur 21 Prozent der Befragten. Besonders Menschen, die die gegenwärtigen Maßnahmen kritisch sehen, scheinen auch eher bereit, die Maßnahmen mitzutragen, wenn wissenschaftliche Unsicherheit klar kommuniziert wird. www.mpg.de/16156841



Geschätzte Anteile der Covid-19-Todesfälle, die durch menschengemachte Luftverschmutzung verursacht wurden.

GRAFIK: GCO NACH MPI FÜR CHEMIE

MEHR COVID-19-TOTE DURCH LUFTVERSCHMUTZUNG

Luftverschmutzung erhöht offenbar das Risiko, an Covid-19 zu sterben. Zu diesem Schluss kommt ein internationales Team, an dem auch Wissenschaftler des Max-Planck-Instituts für Chemie in Mainz beteiligt waren. Die Forschenden haben den Anteil der Covid-19-Todesfälle berechnet, die vermieden worden wären, wenn es keinen vom Menschen verursachten Feinstaub etwa aus der

Verbrennung fossiler Energieträger gäbe. Demnach sind 15 Prozent der weltweiten Covid-19-Todesfälle auf diesen Schadstoff zurückzuführen. In Deutschland sind es sogar 26 Prozent. Offenbar erleichtert Feinstaub dem Virus die Infektion von Zellen in der Lunge und schädigt die Blutgefäße zudem auf ähnliche Weise wie Sars-CoV-2.

www.mpg.de/15950183

15

HIGH-SPEED-MODELL FÜR DEN KAMPF GEGEN CORONA

Bevor Medikamente gegen das Coronavirus Sars-CoV-2 in klinischen Studien am Menschen erprobt werden können, müssen sie an Tieren genau untersucht werden. Ein gut geeigneter Modellorganismus für den Menschen ist zum Beispiel die Maus. Allerdings kann Sars-CoV-2 Mäuse nicht infizieren, denn die Tiere besitzen eine andere Variante sogenannter ACE2-Rezeptoren. An diese Variante kann das Virus nicht andocken und deshalb nicht in die Körperzellen der Nager eindringen. Forschende des Max-Planck-Instituts für molekulare Biomedizin in Münster haben nun zusammen mit Kollegen aus China Mäuse genetisch so verändert, dass

sie eine Variante des ACE2-Rezeptors auf ihren Zellen tragen, wie sie beim Menschen vorkommt – dank der Genschere CRISPR-Cas9 und einer Technik aus der Stammzellforschung in der Rekordzeit von nur einem Monat. Die Ergebnisse zeigen, dass eine Infektion mit Sars-CoV-2 bei den genetisch veränderten Mäusen ähnliche Symptome wie Covid-19 beim Menschen verursachen kann. Dank der neuen Techniken können Forschende die Wirkung von Antikörpern und Medikamenten auf das Coronavirus untersuchen und künftig schneller als bisher auf die Bedrohung durch neue Erreger reagieren. www.mpg.de/16144806

DEMOKRATIE IN DER HÜHNERWELT

Geierperlhühner aus den Savannen Ostafrikas leben in einer mehrschichtigen Gesellschaft, in der sich soziale Gruppen aus 15 bis über 60 Individuen untereinander austauschen. Innerhalb eines einzelnen Verbandes gibt es eine klare Hierarchie: Alphatier können andere Gruppenmitglieder dominieren und Nahrung vollständig für sich selbst beanspruchen. Forschende des Max-Planck-

Instituts für Verhaltensbiologie in Radolfzell haben die Bewegungen verschiedener Gruppen von Geierperlhühnern mehrere Jahre zu Fuß, per Video und mit hochauflösenden GPS-Sensoren verfolgt und den sozialen Rang der Tiere in der Hierarchie bestimmt. Wenn dominante Individuen demnach andere Gruppenmitglieder von einem besonders reichhaltigen Nahrungsgebiet verjagen,

tun sich die Ausgeschlossenen zusammen und drängen die Gruppe zum Aufbruch. Dieses Verhalten zwingt die Alphatier schließlich, die Futterstelle ebenfalls zu verlassen und der Gruppe zu folgen. Die Anführer müssen sich also der Mehrheit beugen, wenn sie ihre Macht missbrauchen und Ressourcen allein für sich beanspruchen.

www.mpg.de/16031753



LÄNGER IN DER STEINZEIT

Die frühesten menschlichen Techniken zur Steinbearbeitung waren im äußersten Westen Afrikas 20 000 Jahre länger in Gebrauch als bisher angenommen. Zu diesem Ergebnis kommen Untersuchungen unter der Leitung von Eleanor Scerri, Forschungsgruppenleiterin am Jenaer Max-Planck-Institut für Menschheitsgeschichte, und Khady Niang von der Universität Cheikh Anta Diop im Senegal. Bislang war man davon ausgegangen, dass die Steinwerkzeuge der Mittelsteinzeit wie der Faustkeil spätestens vor 30 000 Jahren durch ein völlig anderes, miniaturisiertes Set an Werkzeugen ersetzt wurden. Das Forschungsteam entdeckte jetzt, dass Jäger-Sammlergruppen im heutigen Senegal noch bis vor 11 000 Jahren die Techniken aus der Mittelsteinzeit nutzten. Ein Grund dafür könnte sein, dass die Region durch die Sahara im Norden und den zentralafrikanischen Regenwald ziemlich isoliert war. Womöglich änderte sich in diesem Gebiet das Klima auch weniger extrem als in anderen Teilen Afrikas, sodass es keinen Bedarf für radikale Veränderungen in der Werkzeugtechnik gab.

www.mpg.de/16239775

ILLUSTRATION: HENNING BRUER



FOTO: GEOFFREY REYNAUD/ISTOCK

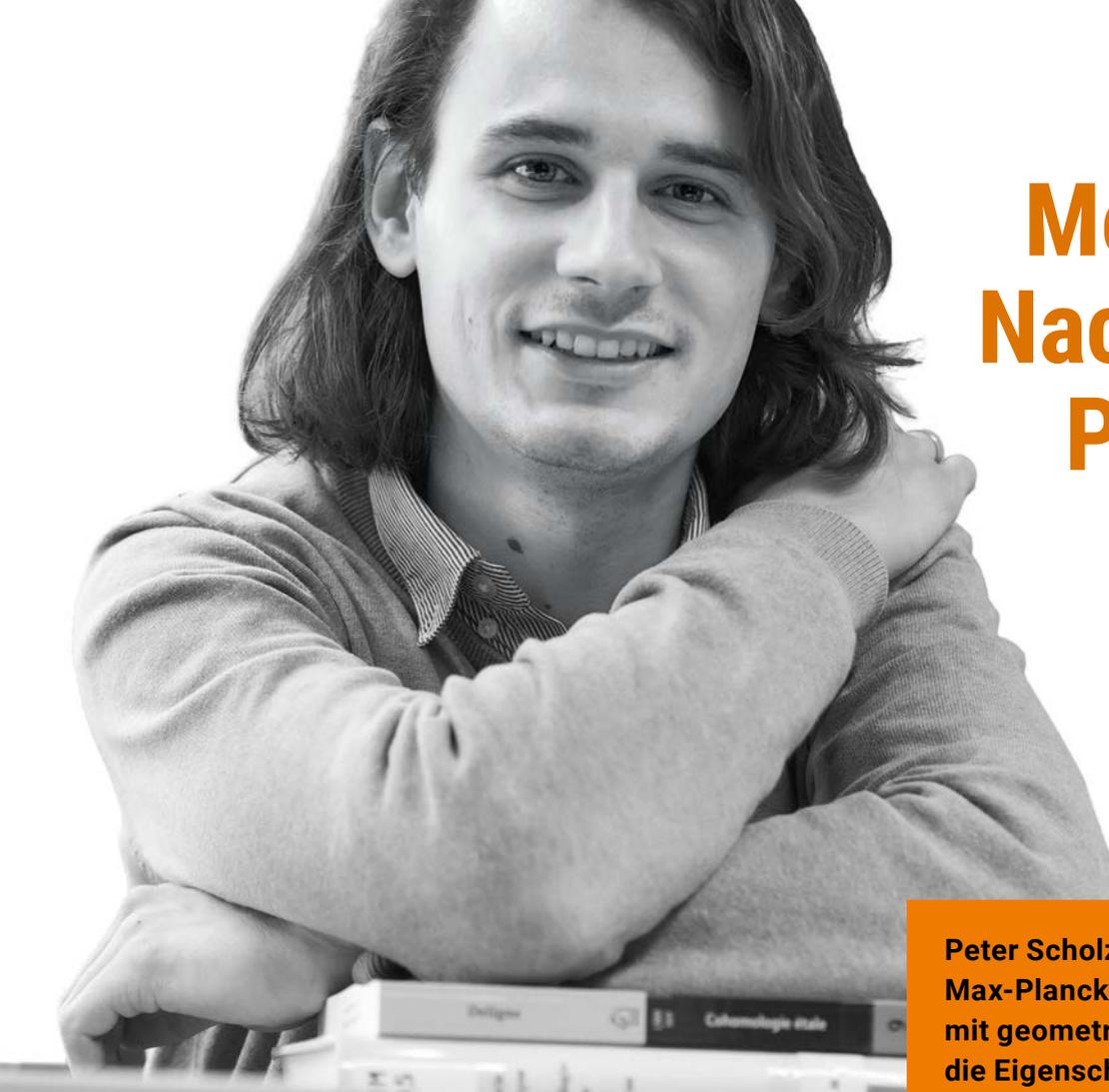
Karibus legen im Lauf des Jahres weite Strecken zurück. Eine Studie hat ergeben, dass sich der Zeitpunkt der Geburten bei Herden weiter im Norden wegen des Klimawandels stärker verschoben hat als der südlicherer Populationen.

ARCHIV DER ARKTISCHEN TIERWANDERUNGEN

Wärmere und kürzere Winter, schmelzendes Eis und mehr menschliche Aktivitäten – die Arktis durchläuft dramatische Veränderungen, die sich auch auf die Tiere und ihre Wanderungen auswirken. Forschende aus der ganzen Welt haben jetzt auf der Onlinedatenbank „Movebank“ des Max-Planck-Instituts für Verhaltensbiologie ein Datenarchiv zur Dokumentation von Tierbewegungen in der Arktis und Subarktis aufgebaut. Mit dem „Arctic Animal Movement Archive“ können Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler

ihr Wissen austauschen und gemeinsam untersuchen, wie Tiere auf eine sich verändernde Arktis reagieren. Das Archiv enthält derzeit über 200 Forschungsprojekte mit den Bewegungsdaten von mehr als 8000 Meeres- und Landtieren von 1991 bis heute. Drei neue Studien aus dem Archiv belegen großräumige Änderungen im Verhalten von Steinadlern, Bären, Karibus, Elchen und Wölfen in der Region. Sie zeigen, wie das Archiv genutzt werden kann, um größere Veränderungen des Ökosystems zu erkennen.

www.mpg.de/15974976



Meine Nachbarn, die Primzahlen

Peter Scholze untersucht am Max-Planck-Institut für Mathematik mit geometrischen Methoden die Eigenschaften ganzer Zahlen.

Mit den »perfektoiden Räumen« hat er eine neue Klasse geometrischer Strukturen entdeckt – so konnten alte Probleme in der Zahlentheorie gelöst werden. Wir fördern ihn, weil die gedanklichen Abenteuer und Erfolge der reinen Mathematik eine unentbehrliche Grundlage für unser Leben im 21. Jahrhundert sind.

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

**Max-Planck-Förderstiftung
Deutsche Bank
IBAN DE46 7007 0010 0195 3306 00**

www.maxplanckfoundation.org



MAX PLANCK
Förderstiftung

WÄCHTERIN IN DEN ZEITEN VON CORONA

Der Kampf gegen Covid-19 scheint vor allem auf nationaler Ebene stattzufinden, während die Weltgesundheitsorganisation WHO in der Öffentlichkeit wenig sichtbar ist und sogar immer wieder in der Kritik steht. Doch die Rolle der WHO wird häufig unterschätzt, meinen Lauren Tonti und Pedro Villarreal. Sie beleuchten aus rechtswissenschaftlicher Sicht, wie die Organisation in der Pandemie agiert und wo Reformbedarf besteht.

18

Eine globale Herausforderung wie die Covid-19-Pandemie und ihre Folgen zu bewältigen, übersteigt die Fähigkeiten jeden Staates – und sei er noch so mächtig. Wegen der Souveränität der einzelnen Staaten lässt sich jedoch nur dann eine globale Strategie gegen die Pandemie entwickeln und umsetzen, wenn diese Nationen zur Zusammenarbeit bereit sind. Zugleich betrifft diese Aufgabe die gesamte internationale Gemeinschaft. Wäre es da nicht ideal, eine Institution zu haben, die sowohl über das technische Know-how als auch über die Möglichkeiten verfügt, jenseits rein nationaler Perspektiven zu handeln?

Die Weltgesundheitsorganisation WHO könnte eine solche Institution sein. Seit Beginn der Covid-19-Pandemie spielt sie eine zentrale Rolle und erfüllt eine Vielzahl von Funktionen. Allerdings steht sie wegen ihres Krisenmanagements in der Frühphase der Pandemie in der Kritik. Es wurden sogar Untersuchungen eingeleitet, um zu prüfen, ob sie anders hätte handeln können und müssen.

Rechtswissenschaftliche Forschung kann dazu beitragen, einige Fragen in diesem Kontext zu klären. Die Funktionen und Befugnisse der WHO sind im internationalen Recht verankert. Es ist daher notwendig, die zentralen Probleme zu identifizieren, die sich aus diesem rechtlichen Rahmen

→

ZUR SACHE

LAUREN TONTI & PEDRO VILLARREAL



Pedro Villarreal ist wissenschaftlicher Referent am Max-Planck-Institut für ausländisches öffentliches Recht und Völkerrecht in Heidelberg. Für seine Dissertation an der National Autonomous University of Mexico zu rechtlichen Fragen der globalen Bekämpfung der H1N1-Grippepandemie erhielt er einen Preis der Universität für die beste Arbeit in den Rechts- und Sozialwissenschaften. Derzeit befasst sich Villarreal unter anderem mit dem Grundrecht auf Gesundheit und mit der Arbeit der WHO.



Lauren Tonti ist Doktorandin am Max-Planck-Institut für Sozialrecht und Sozialpolitik in München. An der Harvard University machte sie einen Master in Public Health. Zuvor hatte sie ihr Jurastudium an der Case Western Reserve University in den USA und parallel an der Université Paris-Dauphine abgeschlossen. Der Schwerpunkt ihrer Forschung liegt auf dem Gesundheitsrecht, insbesondere auf rechtlichen Fragen der Telemedizin.

ergeben, und die Erwartungen der internationalen Gemeinschaft mit diesen Rahmenbedingungen abzugleichen. Auf dieser Basis können wir verschiedene normative Fragen beantworten: Was sollte die Organisation anders machen? Welche Maßnahmen würden rechtliche Reformen erfordern? Und ganz grundsätzlich: Wie kann sich die internationale Gemeinschaft besser auf die nächste Pandemie vorbereiten? Dazu lohnt es sich, die verschiedenen Rollen, welche die WHO während der Covid-19-Pandemie eingenommen hat, genauer in den Blick zu nehmen: Rollen wie die der Planerin, der Wächterin, Beraterin, Lehrerin, der Koordinatorin und Verfechterin fairer Bedingungen – und damit viel mehr, als wohl den meisten von uns bewusst ist.

Schon seit einiger Zeit arbeitet die WHO an einem Grundgerüst für die Pandemieprävention: Im Jahr 2005 verabschiedete die Weltgesundheitsversammlung, das höchste Entscheidungsorgan der WHO, die Internationalen Gesundheitsvorschriften. Sie sind das wichtigste rechtliche Werkzeug in globalen Gesundheitskrisen und sollen vor einer internationalen Ausbreitung ansteckender Krankheiten schützen, diese eindämmen und Gegenmaßnahmen entwickeln, dabei aber unnötige Eingriffe in den internationalen Reiseverkehr und den globalen Handel vermeiden. Um diese Ziele zu erreichen, sind verbindliche Regeln für die WHO und ihre Mitgliedstaaten festgeschrieben. Dazu gehört insbesondere die Verpflichtung der Staaten, die WHO über Ereignisse zu informieren, die einen internationalen Gesundheitsnotstand darstellen können – und zwar innerhalb von 24 Stunden, nachdem das Ereignis festgestellt wurde.

20

EINE WARNUNG –
ZUMINDEST
FÜR DIE STAATEN,
DIE SOLCHE
ERKLÄRUNGEN
BEACHTEN

Des Weiteren übernimmt die Weltgesundheitsorganisation die Rolle einer globalen Wächterin: Sie kann potenzielle internationale Gesundheitsnotlagen ermitteln, indem sie Daten über Ausbrüche übertragbarer Krankheiten sammelt – entweder von Staaten oder von inoffiziellen Quellen. Anfang 2020 arbeitete die WHO mit China zusammen, um die möglichen Gefahren des neuartigen Coronavirus zu untersuchen und zu bewerten. Auf der Grundlage verfügbarer epidemiologischer Informationen über ein Gesundheitsrisiko ist die WHO dafür verantwortlich, weltweit Alarm zu schlagen. Indem sie den Ausbruch von Sars-CoV-2 (das Virus, das Covid-19 verursacht) am 30. Januar 2020 zum globalen Gesundheitsnotstand erklärte, benannte die WHO erstmals die aufkeimende globale Krise. Später, am 11. März 2020, stufte sie den Ausbruch als Pandemie ein. Diese Warnungen gaben den Staaten einen ersten Hinweis auf das bevorstehende Pandemiegeschehen – zumindest jenen, die solchen Erklärungen Beachtung schenkten.

Auch als Beraterin und Lehrerin ist die WHO tätig: Zwar kann sie ihren Mitgliedstaaten keine Anordnungen erteilen, wie es nationale Gesundheitsbehörden gegenüber ihrer Bevölkerung können. Aber die Satzung

OBWOHL DIE
EMPFEHLUNGEN
NICHT BINDEND
SIND, FLIESSEN
SIE IN NATIONALE
REGELUNGEN EIN

der WHO und auch die Internationalen Gesundheitsvorschriften sehen vor, dass die Organisation Leitlinien für die Seuchenbekämpfung festlegt. In dieser Funktion kann sie ihre über Jahrzehnte erworbene Expertise zu globalen Gesundheitsthemen einbringen und ein Gegengewicht zur derzeit grassierenden „Infodemie“ schaffen. Indem sie sowohl den nationalen Behörden als auch der breiten Öffentlichkeit die besten verfügbaren Fakten zur Verfügung stellt, wirkt sie der Verbreitung von Desinformation entgegen.

Ihrem Mandat entsprechend hat die WHO fachliche Leitlinien zu einem breiten Spektrum von Themen im Zusammenhang mit Covid-19 herausgegeben, von der klinischen Versorgung über Medikamente und Diagnosemöglichkeiten bis hin zu Reiserichtlinien. Obwohl diese Empfehlungen für die Staaten nicht verpflichtend sind, werden sie dennoch häufig bei den Entscheidungen nationaler Gesundheitsbehörden berücksichtigt. Als die Wissenschaft schrittweise mehr über das neue Virus herausfand, hat die WHO ihre Covid-19-Empfehlungen entweder aktualisiert (etwa die Verwendung von Gesichtsmasken) oder sogar geändert (etwa in Bezug auf Reisebeschränkungen).

Mehrere Faktoren könnten dazu geführt haben, dass die Empfehlungen der WHO dennoch auf unterschiedliche Akzeptanz gestoßen sind: etwa der anfängliche Mangel an Informationen über den neuen Erreger, der fehlende Konsens in der Fachwelt oder vielleicht auch die Tatsache, dass die WHO die zahlreichen Faktoren, die bei der Patientenversorgung eine Rolle spielen, nicht eindeutig bewertet hat. Die Exaktheit der WHO-Leitlinien in der Covid-19-Pandemie mag höchst umstritten und kontrovers sein – das zeigt aber nur, welches Gewicht solche Empfehlungen haben.

21

Eine weitere Rolle der Weltgesundheitsorganisation ist die der Koordinatorin: Nachdem persönliche Schutzausrüstung und andere relevante medizinische Geräte knapp geworden waren, hat die WHO in Zusammenarbeit mit anderen Organisationen ein zentral koordiniertes logistisches Versorgungssystem eingerichtet. Die Mitgliedstaaten können darüber kurzfristig diagnostische, biomedizinische und andere essenzielle medizinische Produkte anfordern. Die WHO nimmt zudem eine koordinierende Rolle bei der Mittelbeschaffung und auch in der Corona-Forschung ein. Um die notwendigen Gelder für wichtige Hilfsmaßnahmen bereitzustellen, hat die WHO einen eigenen Fonds eingerichtet, der mit Hunderten Millionen Dollar unter anderem die Entwicklung von Impfstoffen und die Bereitstellung von Material ermöglicht. Darüber hinaus koordiniert die Organisation auch die intensiven Forschungsbemühungen zu Covid-19. Gemeinsam mit anderen Organisationen hat sie eine globale Partnerschaft öffentlicher und privater Akteure ins Leben gerufen, den sogenannten ACT Accelerator, um die Entwicklung, die Fertigung und den gerechten Zugang zu Covid-19-Tests, -Behandlungen und -Impfstoffen zu beschleunigen.

→

Bei all ihren Aktivitäten ist die WHO dem Gebot der Fairness verpflichtet: Während Staaten typischerweise dazu neigen, ihre eigene Bevölkerung zu bevorzugen, setzt sich die WHO für eine gerechtere globale Verteilung der verschiedenen medizinischen Ressourcen während der Covid-19-Pandemie ein. In einer von der Weltgesundheitsversammlung am 19. Mai 2020 verabschiedeten Resolution wurde die umfassende Immunisierung gegen Covid-19 zum „globalen öffentlichen Gut“ erklärt. Diese Festlegung ist Grundlage globaler Programme und Strategien gegen die vermutlich folgenschwerste Pandemie in der jüngeren Geschichte.

Eines dieser Programme ist die globale Initiative COVAX, ein Zweig des ACT Accelerator unter Leitung der WHO. Sie zielt darauf ab, weltweit einen gerechten Zugang zu sicheren und wirksamen Covid-19-Impfstoffen zu ermöglichen. Die WHO hat einen fairen Verteilungsschlüssel entwickelt – andere Organisationen (zum Beispiel die öffentlich-private Partnerschaft Gavi, eine globale Allianz für Impfstoffe und Immunisierung, sowie Unicef) übernehmen die Impfstoffverteilung. COVAX bietet bislang den ausgewogensten Mechanismus für die weltweite faire Zuteilung von Impfstoffen gegen Covid-19. Die teilnehmenden Staaten gliedern sich in zwei Gruppen: eine selbstfinanzierte Gruppe, deren Mitglieder für die erhaltene Menge bezahlen, und eine geförderte Gruppe, deren Mitglieder die Impfstoffe über Programme der Entwicklungshilfe (das heißt auf Vorzugsbasis) erhalten.

Allerdings gibt es zwei wesentliche Einschränkungen für COVAX. Erstens erfordert die Initiative eine aktive Teilnahmebereitschaft von Staaten und Pharmaunternehmen. Als der erste Impfstoff von Pfizer/Biontech in mehreren Ländern zugelassen wurde, war er nicht im Portfolio der COVAX-Initiative. Zweitens sind die Impfstoffkäufe der geförderten Staaten vollständig von Spenden internationaler Finanzinstitutionen oder von philanthropischen nichtstaatlichen Akteuren abhängig. Hier zeigen sich die Grenzen globaler Solidarität gerade dann, wenn diese am nötigsten wäre.

Einem flammenden Inferno wird man mit einer Sprinkleranlage wenig entgegensetzen können – genauso problematisch ist es, auf dem Höhepunkt einer globalen Pandemie Präventivmaßnahmen umzusetzen. Dennoch können die WHO und ihre Mitgliedstaaten Lehren aus der Covid-19-Pandemie ziehen und die gewonnenen Erfahrungen in Reformen einfließen lassen, um künftig besser gewappnet zu sein.

Erstens sollten die Mitgliedstaaten den Fahrplan nutzen, den die Internationalen Gesundheitsvorschriften zur Verfügung stellen. Seine Funktionsfähigkeit hängt entscheidend davon ab, dass die Staaten sich an diese Bestimmungen halten. Als die Pandemie zum ersten Mal ausbrach, erfüllte fast kein Staat vollständig die fundamentalen Anforderungen zur Überwachung der Krankheit. Die Staaten sollten daran arbeiten, ihre Leistung in diesem Bereich zu verbessern, während die WHO objektive Bewer-

DIE WHO SOLLTE ANGESICHTS DER KRITIK TRANSPARENTER MACHEN, WIE SIE ENTSCHEI- DUNGEN TRIFFT

tungs- und Feedbackmechanismen für die in den Gesundheitsvorschriften vorgesehenen Kennzahlen entwickeln sollte.

Zweitens können die Akteure auf allen Entscheidungsebenen die besten verfügbaren Erkenntnisse in den Mittelpunkt ihrer Entscheidungen stellen. Eine evidenzbasierte Meinungsbildung hängt wesentlich vom Informationsfluss ab. Im Kampf gegen zukünftige Ausbrüche sind effektive und zuverlässige Systeme zur Kontrolle und zum Austausch von Informationen auf lokaler, nationaler und zwischenstaatlicher Ebene entscheidend.

Drittens können die Staaten ihr Verantwortungsbewusstsein unter Beweis stellen, indem sie Finanzmittel für die gesundheitliche Notfallvorsorge bereitstellen.

Viertens sollte die WHO angesichts der Kritik an ihrer Entscheidungsfindung darauf hinwirken, die öffentliche Transparenz zu erhöhen und die Zusammenarbeit mit Gremien zu verstärken, die sich mit der weltweiten Gesundheitssicherheit befassen. Sowohl die WHO als auch die Mitgliedstaaten können die Kommunikation untereinander optimieren. Die WHO sollte eindeutige Formulierungen finden, um der Welt die Schwere einer Gesundheitsbedrohung zu vermitteln, damit die Staaten die notwendigen Vorkehrungen treffen können. Die manchmal inkonsistente Verwendung von Fachbegriffen vonseiten der WHO ist dabei wenig hilfreich. Zum Beispiel führte die unklare Definition des Begriffs „Pandemie“ Anfang 2020 zu widersprüchlichen Aussagen des WHO-Generaldirektors über die Ausbreitung des Virus.

Fünftens kann die WHO die Effektivität der Internationalen Gesundheitsvorschriften stärken, indem sie diese mit anderen globalen Sicherungssystemen im Gesundheitsbereich in Einklang bringt. Gemeinsam mit den Mitgliedstaaten, die in der Weltgesundheitsversammlung abstimmen, kann die WHO auch die notwendigen Reformen in Angriff nehmen, um eine dynamische Governance-Struktur zu schaffen, die den aktuellen Herausforderungen gerecht wird. Auf diese Weise kann die WHO das Vertrauen in den internationalen Rechtsrahmen stärken. Schließlich können die WHO und die Mitgliedstaaten versuchen, sich auf eine Unterstützung aller Institutionen und Mechanismen zu einigen, die zum Schutz der globalen öffentlichen Gesundheit erforderlich sind.

Die WHO und ihre Mitgliedstaaten können aus den Herausforderungen von Covid-19 lernen, um die Menschen vor weiteren Pandemien zu schützen. Sie sollten Pandemien ebenso ernst nehmen wie andere Sicherheitsrisiken und dabei eng mit internationalen Organisationen zusammenarbeiten. So kann sich die internationale Gemeinschaft besser auf zukünftige Gesundheitskrisen vorbereiten und diese verhindern.



IM FOKUS

SO ODER ANDERS

24 | Wir Kulturmenschen

30 | Geburtshelfer im Galaxienzoo

38 | Vielfalt im Blätterwald

24

ILLUSTRATION: REGINA MARIA MÖLLER, VG BILD-KUNST BONN. WWW.REGINAMOELLER.NET



WIR KULTURMENSCHEN

TEXT: STEFANIE REINBERGER

25

Wie Menschen handeln und denken, hängt vielfach von ihrer gesellschaftlichen Prägung ab. Daher variieren Verhaltensweisen rund um den Globus zum Teil enorm. Der Psychologe Daniel Haun, Direktor am Max-Planck-Institut für evolutionäre Anthropologie in Leipzig, hat die kulturelle Vielfalt zu einem Schwerpunkt seiner Forschung gemacht. Seine Idee: Nur wenn wir die Unterschiede und Gemeinsamkeiten kennen, können wir letztlich die Eigenschaften bestimmen, die uns als Menschen ausmachen.

Wer mehr leistet, saht am Ende auch mehr von der wohlverdienten Belohnung ab. So ist es gerecht, oder? Das sehen bereits Dreijährige so – zumindest in unseren Breiten. Sie weisen Gewinne nach Leistung zu und teilen auch lieber mit Spielkameraden, die sich mehr eingebracht haben. Das haben verschiedene Untersuchungen immer und immer wieder bestätigt. Wenn Ihnen das Resultat dieser Studien nun gar zu logisch vorkommt, sind Sie vermutlich aus Deutschland. Oder Sie sind zumindest Mitglied einer Industriegesellschaft. Doch was uns selbstverständlich erscheint, muss für Menschen in anderen Teilen der Welt noch lange nicht gelten.

Die Kultur beeinflusst Wahrnehmung und Handeln. Und nach allem, was wir wissen, ist die ausgeprägte und facettenreiche Kultur des Homo sapiens einzigartig im Vergleich zu jener anderer Spezies. Doch was befähigt den Menschen dazu, eine derartige kulturelle Vielfalt überhaupt zu entwickeln? Welches sind die Grundfesten der menschlichen Kognition, die uns von anderen Arten unterscheiden und uns zu Menschen machen? Das sind die großen Fragen, die den Leipziger Max-Planck-Direktor Daniel Haun beschäftigen und denen er mit seiner 2019 gegründeten Abteilung für vergleichende Kulturpsychologie nachgeht.

Die Kultur prägt, was als gerecht gilt

„In verschiedenen Kulturen nehmen Menschen soziale Beziehungen, soziale Emotionen, Farbe, Zahl oder Raum auf ganz unterschiedliche Arten und Weisen wahr“, sagt der Psychologe. „Es ist beeindruckend, auf Gruppen von Menschen zu treffen, die Dinge sehen, die man selbst nicht sieht, sich Dinge merken, die man sich selbst nicht merken kann, oder die regelmäßig Dinge tun, die man selbst nicht tun würde.“ Wie unterschiedlich ausgeprägt das Verhalten in bestimmten Situationen sein kann, beobachtete ein Forschungsteam aus mehreren Max-Planck-Instituten und der Universität Jena in einer Studie eindrücklich. Sie hatten Kinder im Alter von vier bis elf Jahren gebeten, in einem Angelspiel nach Klötzchen zu fischen; immer zwei Kinder angelten aus zwei verschiedenen Behältern. Dabei waren die magnetischen Würfel eines Kindes manipuliert, sodass es einen Teil der „Fische“ einfach nicht herausziehen konnte. Danach erhielten die beiden kleine Belohnungen nach der Anzahl der gemeinsam gefischten Klötzchen und durften diese unter sich aufteilen. Erwartungsgemäß teilten die deutschen Kinder akribisch nach Leistung: Jeder bekam so viele Belohnungen, wie er Klötzchen gefischt hatte. Punkt.

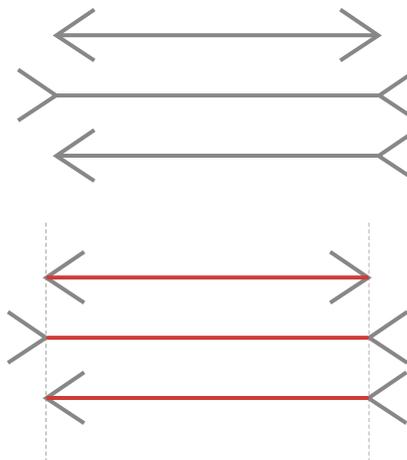
Auch junge Mitglieder der #Akhoe Hai//om, einer egalitären Sammlergesellschaft in Namibia, belohnten die

„Man muss schon fragen, welche Aussagekraft Studien mit amerikanischen Studierenden haben.“

DANIEL HAUN

bessere Leistung. Allerdings bei weitem nicht so deutlich wie Gleichaltrige in Deutschland. Vielmehr verteilten sie die Beute annähernd gleichmäßig, und das erfolgreichere Kind bekam eben ein Klötzchen mehr. Verblüfft waren die Forscher allerdings davon, wie die dritte Gruppe vorging – kenianische Kinder vom Volk der Samburu, einer Gesellschaft mit strikter Altershierarchie. „Die Kinder wählten die unterschiedlichsten Verteilungsmodelle, bis hin zu einer Variante, bei der der erfolgreichere Angler quasi leer ausging“, sagt Daniel Haun, der an der Studie beteiligt war. „Die möglichen Prinzipien dahinter waren für uns überhaupt nicht nachvollziehbar.“ Ein wichtiges Fazit: Auch das Gerechtigkeitsempfinden wird durch unsere Kultur geprägt.

Ein anderes Beispiel, fast noch frappierender: die Müller-Lyer-Illusion, eine bekannte optische Täuschung. Dabei handelt es sich um Linien, die von Pfeilspitzen in Form offener Winkel begrenzt werden. Die Spitzen zeigen dabei mal nach innen und mal nach außen. Je nachdem, wie sie angeordnet sind, sehen wir die Linien unweigerlich als länger oder kürzer – obwohl sie eigentlich gleich lang sind. Das optische Phänomen funktioniert allerdings nicht überall auf der Welt. „Be-



Teilweise Täuschung: Vor allem in der westlichen Welt schätzen Menschen die Linien zwischen den Pfeilspitzen fälschlicherweise als unterschiedlich lang ein. Mitglieder verschiedener Kulturen in anderen Teilen der Welt nehmen das optische Phänomen dagegen gar nicht wahr.

GRAFIK: GCO NACH FIBONACCI/WIKIPEDIA (CC BY-SA 3.0)



Außerhalb westlicher Normen: Ein Mädchen aus der Volksgruppe der #Akhoe Hai//om in Namibia beteiligt sich an einer psychologischen Studie.

reits in den 1960er-Jahren stellte sich heraus, dass es über den ganzen Globus verteilt Gesellschaften gibt, in denen die Menschen die Linien als gleich lang sehen, wenn sie gleich lang sind – uns ist das unmöglich“, sagt Haun. Beide Beispiele unterstreichen: Wie sich unsere kognitive Leistung ausdrückt, hängt stark von der Umgebung ab, in der wir leben – insbesondere von der Gesellschaft und ihrer Kultur. „Da muss man sich dann schon die Frage stellen, welche allgemeine Aussagekraft psychologische Untersuchungen haben, die mit amerikanischen Psychologie-Studierenden durchgeführt wurden, oder entwicklungspsychologische Studien, die ausschließlich europäische Babys und Kleinkinder beobachten“, sagt Haun. Allgemeingültige Aussagen über die Wahrnehmung und das Denken des Menschen lassen sich auf dieser Ebene jedenfalls nicht unbedingt treffen.

Doch Haun geht es nicht darum, die bisherige psychologische Forschung an den Pranger zu stellen. Für ihn sind die kulturellen Unterschiede vor allem ein Schlüssel zur Beantwortung seiner Forschungsfragen. „Um zu verstehen, was den Menschen dazu befähigt, kulturelle Vielfalt überhaupt zu entwickeln, müssen wir die zugrunde liegenden relevanten Entwicklungsprozesse

verstehen, aus denen heraus kulturelle Variation entsteht. Diese vergleichen wir mit der Entwicklung anderer Arten und suchen so nach Erklärungen für die Entstehung der einzigartig menschlichen kulturellen Evolution.“

Dabei genügt es nicht, Menschen aus verschiedenen Kulturen zu vergleichen. Auch das Alter der Probanden spielt eine Rolle oder die demografische Zusammensetzung der Population. „Soziales Lernen hängt beispielsweise stark vom Alter ab“, sagt Haun. Gemeint ist eine Form des Lernens, bei der man andere dabei beobachtet, wie sie bestimmte Handlungen durchführen. Diese Herangehensweise ist über alle menschlichen Kulturen hinweg verbreitet.

Doch orientieren sich Kinder überall auf dem Planeten gleichermaßen an anderen? Und nach welchen Kriterien wählen sie ihre Vorbilder? Dieser Frage ging Haun gemeinsam mit einem internationalen Team nach. Beteiligt waren Kinder aus sieben unterschiedlichen kulturellen Gruppen: Kinder aus Deutschland, Brasilien und Indonesien sowie aus den Volksgruppen der BaAka in der Zentralafrikanischen Republik, der #Akhoe Hai//om in Namibia, der Samburu in Kenia





FOTO: MPI FÜR EVOLUTIONÄRE ANTHROPOLOGIE

In pädagogischer Mission: Daniel Haun ist es wichtig, ein Bewusstsein für die Vielfalt und die Besonderheiten des Menschen zu wecken. So stellte er sein Thema auch im Rahmen der Kinder-Uni Jena vor.

28

und der Bemba in Sambia. Im Zentrum der Untersuchung stand ein simpler Automat: ein Kasten mit drei verschiedenfarbigen Röhren. Steckt man einen Ball in eine der Röhren, fällt unten ein kleines Spielzeug heraus. Nun durften die Kinder im Alter von vier bis vierzehn Jahren Videos anschauen, in denen Gleichaltrige vorführten, wie der Kasten funktioniert. Dabei zeigten jeweils drei Kinder den Ablauf alle an ein und derselben Röhre. Anschließend führte ein weiteres Kind dreimal hintereinander das Prozedere an einer anderen Röhre vor. Das Ergebnis war immer gleich: Für jeden eingeworfenen Ball spuckte der Automat ein Spielzeug aus. Anschließend bekamen die zuschauenden Kinder selbst einen Ball in die Hand gedrückt und hatten nun genau einen Versuch, um ebenfalls eine Belohnung zu ergattern.

Wie stark sich die Kinder an den Vorbildern im Film orientierten, war je nach kulturellem Hintergrund sehr unterschiedlich. Aber es zeigten sich auch spannende Gemeinsamkeiten: „Obwohl die kulturelle Variation insgesamt hoch war, veränderte sich über alle Kulturen hinweg gleichermaßen mit dem Alter, wie deutlich die Kinder dazu neigten, sich der Mehrheit anzuschließen“, sagt Haun. Insgesamt ahmten sowohl die

„Uns läuft die Zeit davon: Die Globalisierung verwischt die Unterschiede zwischen den Kulturen.“

DANIEL HAUN

jüngsten als auch die ältesten Kinder in allen Gruppen am häufigsten das Verhalten der drei Vorbilder nach – statt der wiederholten Vorführung des einzelnen Kindes zu folgen. „Uns zeigen solche Ergebnisse auch, wie wichtig es ist, nicht nur einzelne Kinder in verschiedenen Situationen oder bei bestimmten Aufgaben zu beobachten“, sagt der Max-Planck-Wissenschaftler. „Eigentlich brauchen wir langfristige Entwicklungsstudien: von der Geburt bis zum Eintritt ins Erwachse-

nenalter.“ So komme man zu verlässlichen Daten, die eine Aussage darüber erlauben, welche kulturellen Faktoren welche Entwicklungsprozesse beeinflussen – und bei welchen Entwicklungsprozessen es keinerlei Variationen gibt.

Und das alles gilt letztlich nicht nur für Studien zum Menschen. Denn um herauszufinden, welche kognitiven Fähigkeiten und Verhaltensweisen einzigartig menschlich sind, gilt es auch, den Vergleich zu unseren nächsten Verwandten zu ziehen, zu Schimpansen und anderen Menschenaffen. Auch hier variiert das Verhalten zwischen unterschiedlichen Gruppen. „Dies ist nicht so stark ausgeprägt wie beim Menschen, und das Ausmaß der Variation hängt zudem stark von der Zusammensetzung der Population ab“, sagt Haun. „Aber sicher ist, Schimpanse ist nicht gleich Schimpanse – da müssen wir sehr genau hinsehen, wenn wir das Verhalten und die kognitiven Fähigkeiten nichthumaner Primaten mit jenen der Menschen vergleichen.“

Hauns Forschungsvorhaben erfordert unzählige Verhaltensstudien, Beobachtungen in vielfältigen menschlichen Kulturen und in diversen Affengruppen – mit möglichst großer Probandenzahl und im Idealfall über lange Zeiträume hinweg. Es ist mehr als deutlich, dass

all das nicht in eine einzige Forscherkarriere passen wird. Und es gibt noch eine Schwierigkeit: „Uns läuft die Zeit davon“, sagt Haun. „Die zunehmende Globalisierung verwischt die Unterschiede zwischen den Kulturen, gleichzeitig sterben nichtmenschliche Primaten aus, weil ihr Lebensraum verloren geht.“ Je geringer die Variabilität auf dem Planeten, desto schwerer wird es, die Gemeinsamkeiten jenseits der kulturellen Prägung herauszufiltern – die Essenz des menschlichen Seins. „Da können vielleicht noch zwei, drei Forschergenerationen etwas bewegen, danach ist es möglicherweise zu spät.“

Die aktuelle Corona-Krise macht das nicht besser. „Feldforschung ist unter den Bedingungen dieser Pandemie kaum möglich“, sagt Haun. Es ist unübersehbar, dass ihm angesichts dieser Tatsache das Herz blutet – wo es draußen in der Welt so viele spannende Kulturen gibt und er so vielen interessanten Fragen nachgehen möchte. Zu tun hat

der Max-Planck-Direktor trotzdem genug. Er nutzt die Zeit, um neue Methoden zu etablieren. Künstliche Intelligenz und Machine Learning sind wichtige Themen für den Psychologen. Beides soll in Zukunft helfen, psychologische Studien automatisiert auszuwerten, um höhere Probandenzahlen untersuchen zu kön-

nen – dies vielleicht sogar im normalen Alltag jenseits von Aufgabenstellungen unter Studienbedingungen. Eine hohe Probandenzahl ist entscheidend, um letztlich den Zusammenhang zwischen der individuellen Entwicklung sowie dem sozialen Umfeld und den geografischen Gegebenheiten bei Menschen und Menschenaffen zu verstehen.

Trotz aller Widrigkeiten bleibt Daniel Hauns Team am Ball, um Kontakte zu knüpfen und in verschiedenen Teilen der Welt Forschungsstationen aufzubauen, die stabil und über einen langen Zeitraum hinweg an seine Abteilung gekoppelt sind – eine wichtige Voraussetzung, um kontinuierlich mit bestimmten kulturellen Gruppen arbeiten zu können. Dabei ist es den Leipziger Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftlern auch wichtig, mit Einheimischen eng zusammenzuarbeiten, denen Sprache, Kultur und Umgangsformen vor Ort geläufig sind. „Die Kooperation mit den Menschen vor Ort ist für das Gelingen dieses Projektes essenziell. Nur dadurch können wir sicherstellen, dass Studien gleichzeitig kulturell angemessen und interkulturell vergleichbar sind.“

Es geht nicht darum zu werten

Außerdem engagiert sich das Team in dem Projekt Many-Primates, einem wissenschaftlichen Zusammenschluss zur Erforschung von Menschenaffen, um so ein verlässliches Netzwerk von Zoos und Auffangstationen zu schaffen. „Die Zeiten, in denen einzelne Gruppen für sich forschten, sind vorbei – Wissenschaft ist ein Team sport. Gerade für unseren Forschungsbereich ist Zusammenarbeit mit anderen Forschenden entscheidend“, sagt Haun. In diesem Sinne will er künftig auch andere psychologisch forschende Gruppen einladen, ihre Fragestellungen gemeinsam mit seinem Team vor dem Hintergrund der vergleichenden Kulturpsychologie zu beleuchten. „Wir haben als Max-Planck-Forschende eine besondere Verantwortung, einen Mehrwert für die wissenschaftliche Community zu schaffen“, ist der Psychologe überzeugt.

Verantwortung übernimmt er auch an anderer Stelle. Denn eines ist ihm sehr wichtig: „Wenn wir kognitive Unterschiede zwischen einzelnen Kulturen untersuchen, darf es nie darum gehen zu bewerten.“ Da sei in der Vergangenheit vieles für politische Zwecke missbraucht worden. Für Haun steht fest: Kognitive Fähigkeiten von Menschen drücken sich unterschiedlich aus, sie mögen faszinierend anders sein, überraschend, manchmal aus unserer Perspektive absolut nicht nachvollziehbar – aber immer sind sie von den Einflüssen und Anforderungen des individuellen Lebensumfelds geprägt. Besser oder schlechter gibt es da nicht.

🔊 www.mpg.de/podcasts/vielfalt



AUF DEN PUNKT GEBRACHT

Die Kultur, in der wir leben, prägt nicht nur Werte oder Vorlieben, sondern auch grundlegende Wesenszüge wie das Gerechtigkeitsempfinden und die optische Wahrnehmung.

Forschende arbeiten daran, mithilfe psychologischer Tests in verschiedenen Kulturen und Altersstufen Unterschiede und Gemeinsamkeiten zu dokumentieren.

Zusätzlich sind Vergleiche mit dem Verhalten von Menschenaffen nötig, um abzugrenzen, was tatsächlich spezifisch menschlich ist.



Milchstraße en miniature: Das rund 40 Millionen Lichtjahre entfernte Objekt UGC 5340 gehört zur Klasse der Zwerggalaxien. Diese zeigen eine Vielfalt an Formen – elliptisch, sphärisch, spiralig oder irregulär – und entstanden in kleinen Halos aus dunkler Materie. Zwerggalaxien enthalten die ältesten bekannten Sterne.

GEBURTSHELFER IM GALAXIENZOO

TEXT: THOMAS BÜHRKE

BILD: NASA, ESA & LEGUS TEAM



Sterne sammeln sich in Galaxien mit völlig unterschiedlichen Formen und Größen. Es gibt elliptische, kugel-, linsen- und spiralförmige Galaxien, manche haben gar keine regelmäßige Gestalt. Nach den Ursachen dieser Vielfalt suchen Nadine Neumayer am Max-Planck-Institut für Astronomie in Heidelberg und Ralf Bender am Max-Planck-Institut für extraterrestrische Physik in Garching. Einen entscheidenden Akteur haben sie bereits ausgemacht: dunkle Materie.

Die Natur hat auf unserem Planeten eine geradezu überbordende Vielfalt hervorgebracht. Allein der Einfallsreichtum in der Pflanzen- und Tierwelt scheint unerschöpflich. Am Beginn des naturwissenschaftlichen Erkundens dieser Mannigfaltigkeit stand stets die Systematisierung. So schuf der schwedische Naturforscher Carl von Linné im 18. Jahrhundert mit seinen Klassifizierungswerken die Grundlagen der modernen Botanik und Zoologie.

Im vergangenen Jahrhundert entdeckten Astronomen auch im Reich der Galaxien eine Fülle an Formen und Größen. Hier war es Edwin Hubble, der Mitte der 1920er-Jahre eine Systematik einführte. In diesem von ihm selbst so genannten „Stimmgabel-Diagramm“ ordnete er die elliptischen Galaxien nach ihrem Abplattungsgrad an. Bei den runden verzweigte sich das Schaubild, und es folgten auf einem oberen Ast Spiralen mit kompaktem Kern und auf dem unteren solche mit zentralem Balken. Von links nach rechts bezeichnete der Forscher die Galaxien als frühe und späte Typen, sah hierin aber nicht unbedingt eine zeitliche Entwicklung.

32 Die Idee eines evolutionären Zusammenhangs zwischen den beiden Grundtypen kam später auf: „Als ich Mitte der 1980er-Jahre mit meiner Forschung begann, waren viele davon überzeugt, dass riesige elliptische Galaxien entstehen, wenn zwei Spiralen zusammenstoßen und miteinander verschmelzen“, sagt Ralf Bender, der seit 2002 Direktor am Max-Planck-Institut für extraterrestrische Physik in Garching ist. Tatsächlich beobachten die Astronomen solche Kollisionen im heutigen Universum, und Computersimulationen bestätigen die damalige Theorie.

Kollision mit der Andromedagalaxie

In einigen Milliarden Jahren wird auch unsere Milchstraße mit der derzeit rund zweieinhalb Millionen Lichtjahre entfernten Andromedagalaxie zusammenstoßen und zu einer elliptischen Galaxie verwirbeln. „Auf diese Weise können allerdings nur die kleinen und mittelgroßen Ellipsen entstanden sein, nicht aber die ganz großen“, sagt Bender. Insbesondere Altersbestimmungen, die er mit seinem Team seit Langem vornimmt, haben das bisherige Bild ins Wanken gebracht. Aber wie findet man das Alter einer Galaxie heraus? Im Urknall entstanden nach heutigem Wissen nur die leichten Elemente, fast ausschließlich Wasserstoff und Helium. Erst im heißen Innern von Sternen und bei Sternexplosionen wurden die schwereren Elemente gebacken. Sie gelangten ins All und bildeten



FOTO: PETER FRIEDRICH

Der Evolution auf der Spur: Ralf Bender beschäftigt sich mit der Entstehung und Entwicklung von Galaxien. Der Direktor am Max-Planck-Institut für extraterrestrische Physik beobachtet uralte, leuchtkräftige Sternsysteme, die als Vorläufer der heutigen Riesenellipsen gelten.

„Entscheidend waren Größe und Dichte der Halos.“

RALF BENDER

den Rohstoff für die nächste Sternengeneration. Diese Entwicklung setzte sich von Generation zu Generation fort. Je mehr schwere Elemente ein Stern enthält, desto später in der Evolution des Kosmos ist er geboren, desto jünger ist er also aus heutiger Sicht.

Vor diesem Hintergrund beobachtete Ralf Bender leuchtkräftige elliptische Galaxien, deren Licht neun Milliarden Jahre benötigt, um uns zu erreichen. Die Forschenden blickten damit weit in die Vergangenheit zurück, als das Universum knapp fünf Milliarden Jahre alt war. Diese Galaxien, so eine theoretische Analyse, sind die Vorläufer heutiger Riesenellipsen, die bis zu eine Billion Sterne umfassen. Aus den gemessenen Elementhäufigkeiten der damaligen und heutigen Galaxien schlossen Bender und seine Kollegen, dass diese riesigen Sternsysteme sich etwa zwei Milliarden Jahre nach dem Urknall formiert haben und der Großteil der darin befindlichen Sterne innerhalb von nur einer Milliarde Jahren geboren war. Nach diesem frühzeitigen heftigen Babyboom gingen die Sterngeburten zurück und kamen bald ganz zum Erliegen. In heutigen elliptischen Galaxien findet sich deshalb eine überalterte Sternpopulation. Sie sind gewissermaßen die Seniorenheime im All.

Ganz anders haben sich Spiralgalaxien wie unsere Milchstraße entwickelt. Sie formten sich über einen längeren Zeitraum, und in ihnen entstehen nach wie vor neue Sterne. Außerdem sind selbst die größten bekannten Spiralgalaxien nicht massereich genug, um als verschmelzendes Paar eine Riesenellipse zu bilden. „So wie sich der Mensch nicht aus den heutigen Affen entwickelt hat, sondern aus weiterentwickelten Hominini, sind elliptische Galaxien nicht aus den Vorgängern der heutigen Spiralen entstanden“, sagt Ralf Bender. „Denkbar ist es aber schon, dass sie aus dem Verschmelzen von sehr großen und dichten Sternsystemen hervorgegangen sind.“

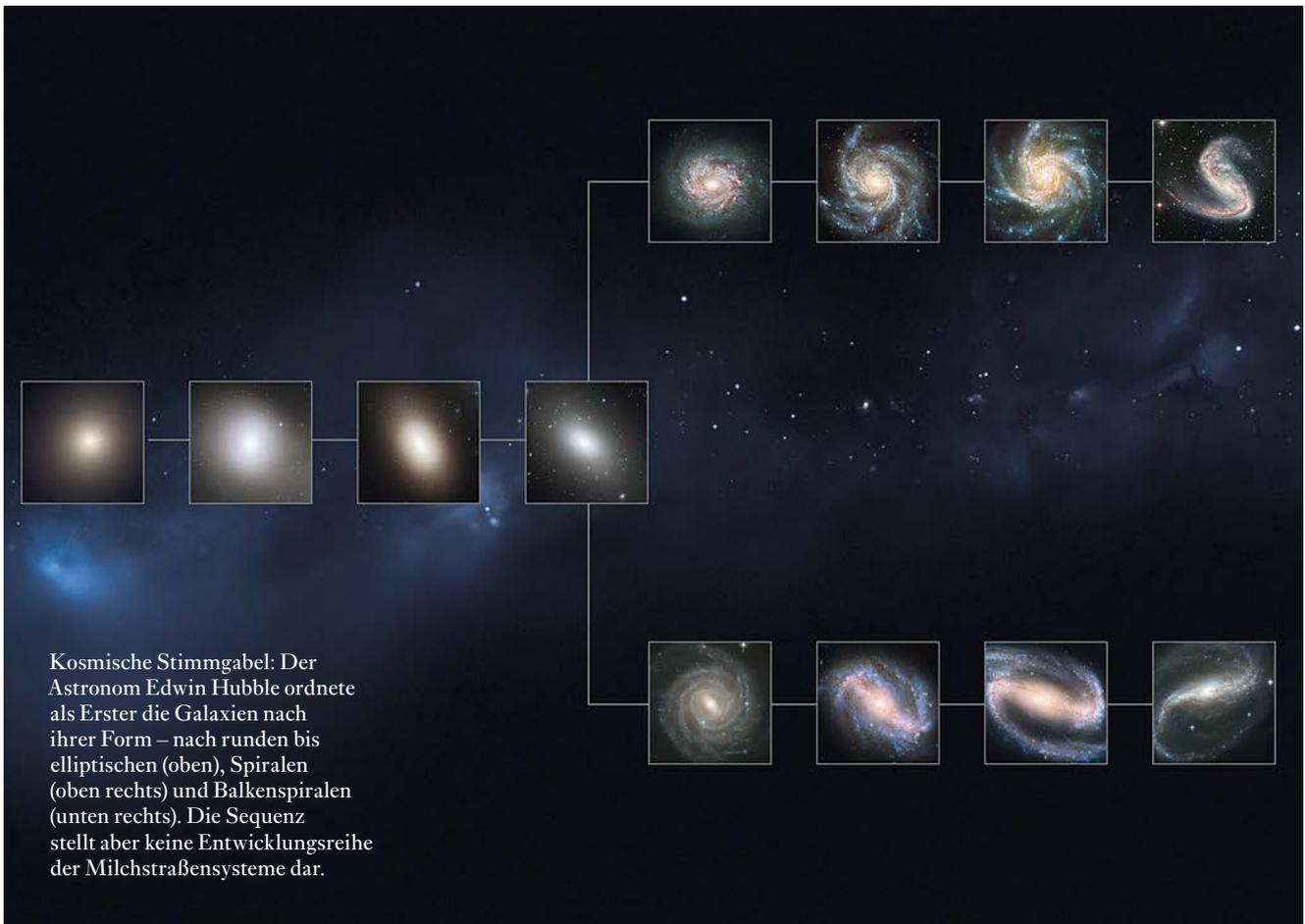
Lange wurde bezweifelt, dass sich derart riesige Sternansammlungen im frühen Universum bilden konnten, doch jüngste Entdeckungen bestätigen dies. So haben Wissenschaftler des Max-Planck-Instituts für Astronomie in Heidelberg eine scheibenförmige Galaxie entdeckt, die bereits 1,5 Milliarden Jahre nach dem Urknall die beträchtliche Masse von 70 Milliarden Sonnenmassen erreicht hatte. Sie kommt damit in den Größenbereich unserer Milchstraße. Und ein internationales Team fand jüngst mit dem Millimeter- und Submillimeter-Array ALMA der Europäischen Süd-



Überraschende Verwandtschaft: Spiralen (links) gehören zu den klassischen Galaxien – das wissen die Astronomen schon lange; unsere Milchstraße sieht, von außen betrachtet, ähnlich aus. Neu ist hingegen die Erkenntnis, dass auch Kugelsternhaufen (rechts) zu dieser Familie zählen – als die Kerngebiete ehemaliger Zwerggalaxien.



BILD: ESO (LINKS); ESA/HUBBLE & NASA (RECHTS)



sternwarte (ESO) rund hundert große, weit entwickelte Galaxien aus der Zeit eine bis eineinhalb Milliarden Jahre nach dem Urknall. Alle diese Beobachtungen zwingen die Kosmologen zum Umdenken. Nach der klassischen Lehrmeinung gab es anfänglich nur viele kleine Sternansammlungen, die zusammenstießen, miteinander verschmolzen und langsam wuchsen. In diesem sogenannten hierarchischen Szenario kann es große Galaxien erst in einer späteren Phase des Universums geben. Doch dies ist definitiv widerlegt. Bleibt also die Frage: Was bestimmt darüber, welcher Galaxientyp entsteht? Die Antwort: dunkle Materie.

ausschließlich über ihre Schwerkraftwirkung bemerkbar machen. Insbesondere üben die Teilchen untereinander keine abstoßenden elektrischen Kräfte aus. Das war am Beginn des Weltalls entscheidend.

Die Schwerkraft versuchte nämlich, dieses Materiegemisch zu großen Klumpen zu verdichten. Doch die Wasserstoff- und die Helium-Atomkerne waren elektrisch geladen und stießen einander ab. Dadurch wurde die Komprimierung des heißen Gases verhindert. Die Dunkle-Materie-Teilchen üben dagegen keine elektri-

Dunkle Materie wirkt nur über die Schwerkraft

Nach dem Urknall vor 13,8 Milliarden Jahren bildeten das überwiegend aus Wasserstoff und Helium bestehende Urgas einerseits sowie die dunkle Materie andererseits einen ziemlich gleichmäßig verteilten Nebel. Zwar wissen die Forscher nach wie vor nicht, worum es sich bei der dunklen Materie handelt; gegenwärtig deutet aber alles darauf hin, dass dahinter eine unbekannte Form von Elementarteilchen steckt, die sich

„Wir haben drei unterschiedlich alte Populationen identifiziert.“

NADINE NEUMAYER

schen Kräfte aus und ballten sich zu riesigen Wolken und langen Filamenten zusammen. Astronomen sprechen von Dunkle-Materie-Halos, die wie Schwerkraftfallen wirkten und die normalen Gasteilchen ansaugten. Die sammelten sich wie Murmeln in einer Mulde und verdichteten sich zu den ersten Sternen und Galaxien.

„Eine entscheidende Rolle für die Vielfalt der Galaxientypen spielten die Größe und Dichte dieser Halos sowie deren Verteilung“, sagt Ralf Bender. Je dichter ein Halo war, desto schneller kollabierte er, und desto schneller zog er das Gas mit. Wenn nun zudem mehrere Halos miteinander verschmolzen, konnten sich schon in dieser turbulenten Anfangsphase riesige Galaxien bilden, in denen schlagartig sehr viele Sterne entstanden. Auf diese Weise formierten sich schon bald nach dem Urknall elliptische Galaxien, in denen die Sterne bis heute auf allen möglichen Bahnen um das Zentrum laufen. Spiralgalaxien dagegen benötigen viele Milliarden Jahre, um ihre gleichmäßige Struktur auszubilden und zu erhalten. „Spiralgalaxien müssen in Ruhe gelassen werden und dürfen keine größeren Kollisionen erleiden“, so Bender.

Demnach sind Spiralgalaxien in Halos entstanden, die so weit verteilt waren, dass sie einander nicht in die Quere kamen. „Man sieht das noch heute an unserer Milchstraße“, sagt der Max-Planck-Forscher. „Sie bildet zusammen mit der Andromedagalaxie und ein paar weiteren Sternensystemen die Lokale Gruppe, die insgesamt eine sehr geringe Durchschnittsdichte aufweist.“ In Bereichen mit großen, dichten Halos hingegen entstand etwa der Coma-Haufen mit zwei riesigen elliptischen Galaxien.

Während sich Ralf Bender mit den massereichsten Galaxien beschäftigt, widmet sich Nadine Neumayer, die am Max-Planck-Institut für Astronomie eine Lise-Meitner-Gruppe leitet, den kleinen Vertretern: den Zwerggalaxien. Lange Zeit galten diese als graue Mäuse im Universum. Auch sie weisen ellipsoidale, sphärische, spiralige und irreguläre Formen auf, wegen ihrer Lichtschwäche lassen sich aber nur die nahe gelegenen beobachten. Derzeit kennen die Forscher 24 Zwerggalaxien, die unsere Milchstraße umkreisen.

Ihre Entstehung fügt sich konsistent in das Dunkle-Materie-Szenario ein: Während in den großen Halos die großen Galaxien entstanden, strömte in die kleinen nur wenig Materie hinein, die sich dann zu Sternen verdichtete. Je nach der Enge der Halos stürzten kleine in große hinein und lösten sich auf oder blieben als Satelliten erhalten. „Da der Materiestrom in diese kleinen Halos sehr schnell versiegte, fehlte auch der Nachschub für neue Sterne“, sagt Neumayer. „Aus diesem Grund finden wir in den Zwerggalaxien auch die ältesten Sterne, wie sich an den Elementhäufigkeiten ablesen lässt.“

Neu ist nun ein Zusammenhang zwischen Zwerggalaxien und Kugelsternhaufen. Auch Letztere umkreisen große Galaxien; so sind derzeit etwa 150 dieser Haufen als Satelliten der Milchstraße bekannt. Sie zählen jedoch nicht zu der Gattung der Galaxien. Ehemals galten sie als älteste Objekte im Universum, in denen seit Langem keine Sterne mehr entstehen. Doch dieses Bild wandelt sich gerade. Schlüsselobjekt ist eine erst in den 1990er-Jahren entdeckte Zwerggalaxie im Sternbild Schütze.

Diese Sagittarius-Zwerggalaxie befindet sich außerhalb der Scheibenebene unserer Milchstraße. Wie Astronomen des Heidelberger Max-Planck-Instituts erst in den vergangenen Jahren herausfanden, besitzt sie einen langen Schweif an Sternen. Dieser entstand, weil die kleine Galaxie die Milchstraße auf einer Bahn umkreist, die nahezu senkrecht auf der Scheibenebene steht. In den vergangenen Jahrmilliarden hat sie die Scheibe mehrmals durchquert, wobei die Sterne aus dem Außenbereich gleichsam abgestreift wurden und nur die fester im zentralen Bereich gebundenen Sterne beisammenblieben. Besonders interessant ist nun, dass die Kernregion der Sagittarius-Zwerggalaxie ein Kugelsternhaufen ist. Seine alte Bezeichnung Messier 54 zeigt, dass er schon vor mehr als 200 Jahren entdeckt wurde, die ihn umgebende Zwerggalaxie aber unerkannt blieb.

Eine Analyse der Elementhäufigkeiten in Messier 54 offenbarte kürzlich – abweichend von der bisherigen Standarderklärung für Kugelsternhaufen – eine lebhaftere Geschichte. „Wir haben drei unterschiedlich alte Sternpopulationen identifiziert, die rund 2,2 und 4,3 sowie 12,2 Milliarden Jahre alt sind“, sagt Nadine

AUF DEN PUNKT GEBRACHT

Neue Beobachtungen und Computersimulationen sprechen zunehmend für ein Szenario, wonach große Wolken (Halos) aus dunkler Materie nach dem Urknall als Schwerkraftfallen wirkten, in denen sich Galaxien aller Größen bildeten.

Die riesigen elliptischen Galaxien entstanden ebenfalls schon früh nach dem Urknall.

Zwerggalaxien können in große Galaxien eintauchen und dabei ihre äußeren, leicht gebundenen Sterne abstreifen. Übrig bleibt ein kompakter Kugelsternhaufen, wie er sich auch im Zentrum unserer Milchstraße befindet.

Neumayer. Zusammen mit Messungen der Sternbahnen ergab sich folgende Erklärung: Die ältesten Sterne formten sich keine zwei Milliarden Jahre nach dem Urknall. Die jüngeren Gestirne könnten entstanden sein, als die Zwerggalaxie die Milchstraßenebene durchquerte und dabei Gas aufsammlte, aus dem sich neue Sterne bildeten. Nach weiteren zukünftigen Passagen durch die Milchstraße wird die Zwerggalaxie ihre ganze Hülle abgestreift haben, und übrig bleibt der Kugelsternhaufen. „Ein ganz ähnliches Szenario vermuten wir auch für den Kugelsternhaufen Omega Centauri“, sagt Neumayer. Dieser mit 3,5 Millionen Sonnenmassen größte Vertreter seiner Art weist ebenfalls ein komplexes Entwicklungsszenario auf, zudem wurde kürzlich andeutungsweise ein abgestreifter Sternstrom entdeckt.

Unsichtbarer Riese inmitten eines dichten Sternhaufens

36 Ob tatsächlich alle Kugelsternhaufen Kerngebiete ehemaliger Zwerggalaxien sind, lässt sich derzeit nicht nachweisen. Doch dass diese für weitere Überraschungen gut sind, zeigte sich vor wenigen Jahren. Damals beobachtete ein internationales Team mit Nadine Neumayers Beteiligung eine Zwerggalaxie, die sich nahe am Zentrum der großen elliptischen Galaxie Messier 60 befindet. Innerhalb eines relativ kleinen Volumens mit 160 Lichtjahren Durchmesser beinhaltet dieses ultrakompakte System mehr als hundert Millionen Sterne. In ihrem Zentrum aber entdeckten die Forscher ein schwarzes Loch mit 21 Millionen Sonnenmassen. In keiner anderen Galaxie besitzt ein derartiges zentrales Objekt einen ähnlich hohen Anteil an der Gesamtmasse. „Interessanterweise liegt im Zentrum der Milchstraße ein ähnliches Masseverhältnis vor“, sagt die Max-Planck-Astronomin.

Im galaktischen Zentrum sitzt ein vier Millionen Sonnenmassen schweres schwarzes Loch. Für dessen detaillierte Untersuchung erhielten Reinhard Genzel vom Max-Planck-Institut für extraterrestrische Physik und die US-Amerikanerin Andrea Ghez den diesjährigen Physik-Nobelpreis. Dieser dunkle Riese sitzt inmitten eines ultrakompakten Sternhaufens mit etwa 25 Millionen Mitgliedern. Aus Messungen der Elementhäufigkeiten leitete Nadine Neumayer ab, dass die meisten Sterne des Haufens vor mehr als acht Milliarden Jahren entstanden sind. Es gibt aber auch eine junge Generation, die sich vor etwa einer Milliarde Jahren innerhalb einer recht kurzen Zeitspanne gebildet hat.

Nadine Neumayer geht der These nach, dass es sich hierbei um verschmolzene massereiche Kugelsternhaufen handelt, die ins Zentrum gesunken sind und in denen sich anschließend weitere Sterne gebildet haben. Hinter dieser Forschung steckt auch die Frage, wie die supermassereichen schwarzen Löcher entstanden sind. Jüngste Untersuchungen, auch von Heidelberger Astronomen, belegen, dass schon ein bis zwei Milliarden Jahre nach dem Urknall schwarze Löcher existierten, die bis zu zehn Milliarden Sonnenmassen enthielten. Es ist heute eine der interessantesten Fragen der Kosmologie, wie diese Giganten so rasch zu dieser enormen Größe anwachsen konnten und welchen Einfluss sie auf die Entwicklung der Galaxien hatten.

Eine Hypothese besagt, dass es schon früh mittelschwere schwarze Löcher mit vielleicht zehntausend Sonnenmassen gab, die durch Verschmelzen mit anderen



Forschen in der Bibliothek:
Nadine Neumayer (rechts)
leitet am Max-Planck-Institut
für Astronomie eine
Lise-Meitner Gruppe.
Zusammen mit ihrem
Team untersucht sie Zwerg-
galaxien und Sternhaufen.

schwarzen Löchern und Aufsaugen von Gas anwachsen. Bisher ließ sich jedoch kein Vertreter dieser Spezies zweifelsfrei nachweisen. „Solche mittelschweren schwarzen Löcher sollte es in den Zentren von Kugelsternhaufen geben“, sagt Nadine Neumayer, „mit den derzeitigen Teleskopen können wir sie dort aber nicht nachweisen.“

Die Forscherin setzt ihre Hoffnung auf ein Instrument namens MICADO, das an dem künftig größten Teleskop der Erde – dem Extremely Large Telescope der ESO – hypergenaue Bilder liefern wird. Es entsteht in einem internationalen Konsortium unter der Leitung des Max-Planck-Instituts für extraterrestrische Physik mit wesentlichen Beiträgen des Max-Planck-Instituts für Astronomie. Mit diesem Megateleskop wird für die Wissenschaft eine neue Ära beginnen – auch für Ralf Bender und Nadine Neumayer.

www.mpg.de/podcasts/vielfalt



DUNKLE MATERIE

Rund 27 Prozent des Weltalls bestehen aus einem unsichtbaren Stoff, der nur über die Gravitation wirkt. Bisher konnten die Forschenden diese Materie nicht entschlüsseln. Als Kandidaten gelten unter anderem Axionen, WIMPS (Weakly Interacting Massive Particles) oder sterile Neutrinos.

HALO

Eine annähernd kugelförmige Region, in der eine Galaxie eingebettet ist. Halos bestehen aus unterschiedlicher Materie, etwa aus heißem Gas (Röntgenhalos) oder dunkler Materie.





Pflanzen haben im Laufe der Evolution einen schier unerschöpflichen Reichtum an Blattformen entwickelt. Dabei ist jede Form auch eine Anpassung an die jeweilige Umwelt. Das Aussehen von Blättern sagt daher wenig über das Verwandtschaftsverhältnis von Pflanzen aus: Selbst nah verwandte Arten können ganz unterschiedliche Blätter besitzen, wenn sie sich an andere Lebensbedingungen anpassen mussten.



FOTO: ADOBESTOCK

VIELFALT IM BLÄTTERWALD

TEXT: TIM SCHRÖDER

Lanzettlich, eiförmig, elliptisch, ganzrandig, gesägt, einfach oder mehrfach gefiedert – die Vielfalt der Blätter hat viele Namen. Doch wie kommt diese Mannigfaltigkeit zustande?

Miltos Tsiantis vom Max-Planck-Institut für Pflanzenzüchtungsforschung in Köln und sein Team suchen nach Genen, die das Blattwachstum kontrollieren. Ein zentrales Steuerelement haben sie schon gefunden.



In Büchern zur Pflanzenbestimmung nimmt allein die Auflistung der vielen Formen von Pflanzenblättern oft mehrere Seiten ein. Die Beschreibungen unterscheiden dabei zwischen einfachen Blättern mit einer zusammenhängenden Blattfläche und solchen, bei denen die Blattfläche aus voneinander getrennten Blättchen besteht, sogenannten Fiederblättern. Das riesige Formenrepertoire ist gut erforscht, denn die Gestalt eines Blattes ist ein wichtiges Merkmal für die Identifizierung einer Pflanze. Doch wie die verschiedenen Formen entstehen und warum selbst die Blätter nahe verwandter Arten ganz unterschiedlich aussehen können, war bis in die jüngste Zeit rätselhaft.

Miltos Tsiantis analysiert zusammen mit seinem Team am Kölner Max-Planck-Institut, wann und wo Gene für die Blattform an- und abgeschaltet werden, wenn eine Blattknospe langsam Gestalt annimmt. Dabei hilft ihm moderne Technik: Mit Spezial-Mikroskopen zoomt er tief ins Gewebe hinein und lässt virtuelle Blätter im Computermodell wachsen. „Wir wollen herausfinden, welche Gene dafür sorgen, dass Blätter so aussehen, wie sie es tun. Da Blütenpflanzen häufig mehrere Zehntausend Gene besitzen, ist das wie die sprichwörtliche Suche nach der Nadel im Heuhaufen“, sagt Tsiantis. Der Wissenschaftler arbeitet seit vielen Jahren mit der Lieblingspflanze der Pflanzengenetiker

schlechthin: Die Ackerschmalwand (*Arabidopsis thaliana*) ist gewissermaßen die Fruchtfliege der Botaniker. Tausende Forscherinnen und Forscher analysieren ihr Erbgut, ihren Stoffwechsel, ihre Entwicklung. Viele Gene dieser Pflanze sind daher relativ gut erforscht.

Doch die Ackerschmalwand allein kann Miltos Tsiantis nicht verraten, wie die unterschiedlichen Blattformen entstehen. Er braucht dazu die Hilfe einer nahen Verwandten. Seine Wahl fällt auf das Behaarte Schaumkraut (*Cardamine hirsuta*), ein zartes Pflänzchen mit weißen Blüten, das wie die Ackerschmalwand zur Familie der Kreuzblütler gehört und das die Kölner Forschungsgruppe zu einem Modellsystem der Pflanzen-genetiker entwickelt hat. Obwohl beide Pflanzen nahe verwandt sind, haben ihre Blätter eine unterschiedliche Form: Die der Ackerschmalwand ähneln runden Spinatblättern, die am Rand ein paar zarte Einkerbungen tragen. Das Behaarte Schaumkraut hingegen besitzt Fiederblätter mit einem größeren, rundlichen Blättchen an der Spitze und darunter links und rechts kleineren Blättchen an zarten Stielen. Miltos Tsiantis züchtet das Schaumkraut in den institutseigenen Gewächshäusern. Für seine Untersuchungen benötigt er genetisch unterschiedliche Individuen. Deshalb behandeln er und sein Team die Samen der Pflanzen mit der Chemikalie Ethylmethansulfonat. Die Substanz



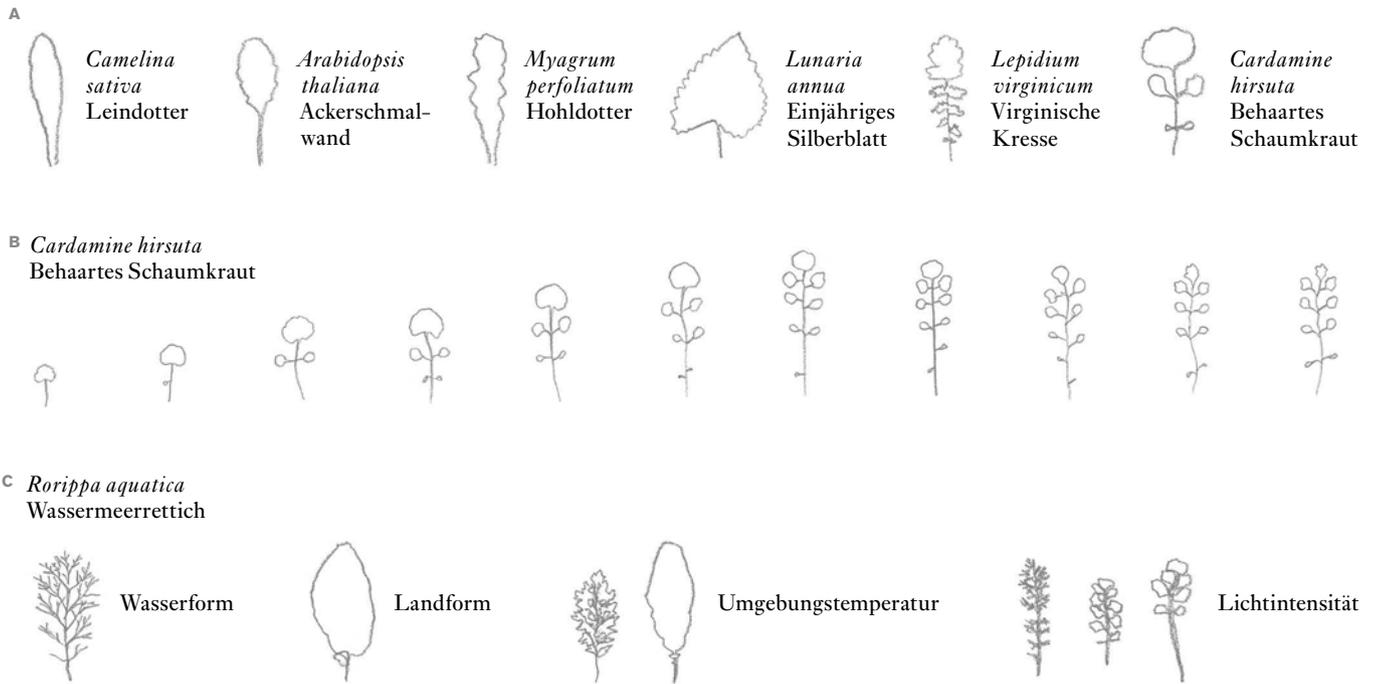
Ideenaustausch in Zeiten von Corona: Miltos Tsiantis, Angela Hay, Neha Bhatia, Ziliang Hu, David Wilson-Sanchez und Shanda Liu (von links).

verursacht hier und da Schäden im Erbgut, sogenannte Punktmutationen. „So lassen sich einzelne Gene verändern. Die Mutationen erfolgen allerdings nach dem Zufallsprinzip. Wir können also nicht beeinflussen, wo sie auftreten“, sagt Tsiantis. Entwickelt eine der behandelten Pflanzen andersartige Blätter, so können die Kölner Forschenden rückwirkend analysieren, welche Gene mutierten und folglich für die Formveränderung verantwortlich sind.

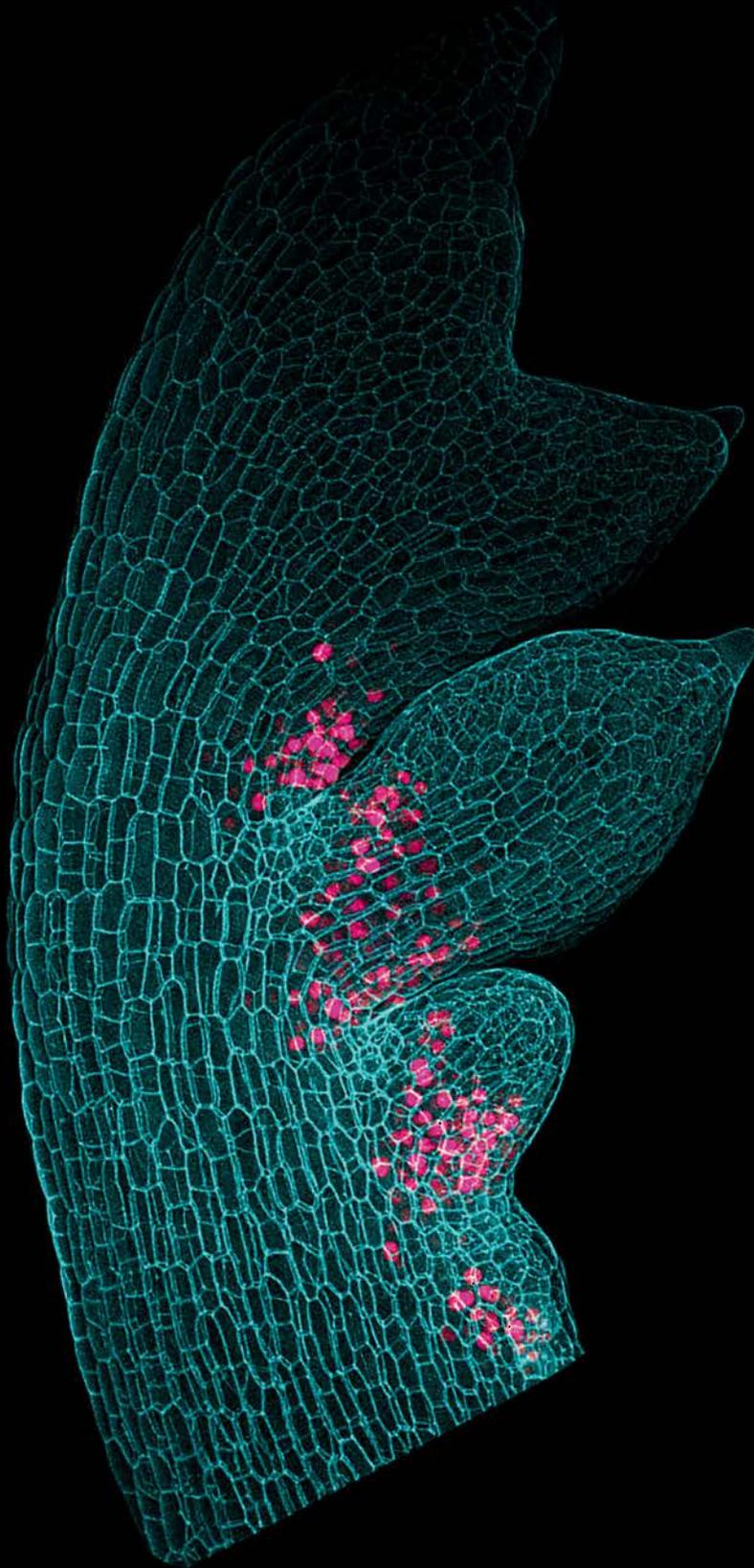
Auf diese Weise hat Tsiantis' ehemaliger Student Huw Jenkins Tausende von Schaumkrautpflanzen mit unterschiedlichen Blattformen gezüchtet: von kraus wie bei der Petersilie bis zu länglich wie beim Lavendel. Dabei gelang den Forschenden eine Entdeckung: Zwischen all den Pflänzchen reckte sich eines empor, dessen Blätter ihnen bekannt vorkamen - rund, mit feinen Einkerbungen am Rand und ganz ohne Fiederblätter. „Dieses Schaumkraut sah ein bisschen aus wie eine Ackerschmalwand“, erzählt Angela Hay, die in der Forschungsgruppe ebenfalls am Schaumkraut forscht. Eine Erbgutanalyse ergab, dass die chemische Behandlung einen DNA-Abschnitt des Schaumkrauts verändert hatte, der bei der Ackerschmalwand überhaupt nicht vorkommt. Die Forschenden hatten also ein Gen entdeckt, welches der Ackerschmalwand mit ihren einfachen Blättern fehlt und dem Behaarten Schaumkraut ebenfalls runde Blätter verleiht, wenn es geschädigt ist. Mithilfe der neuen Technik der Genom-Editierung konnten sie gezielt Mutationen im



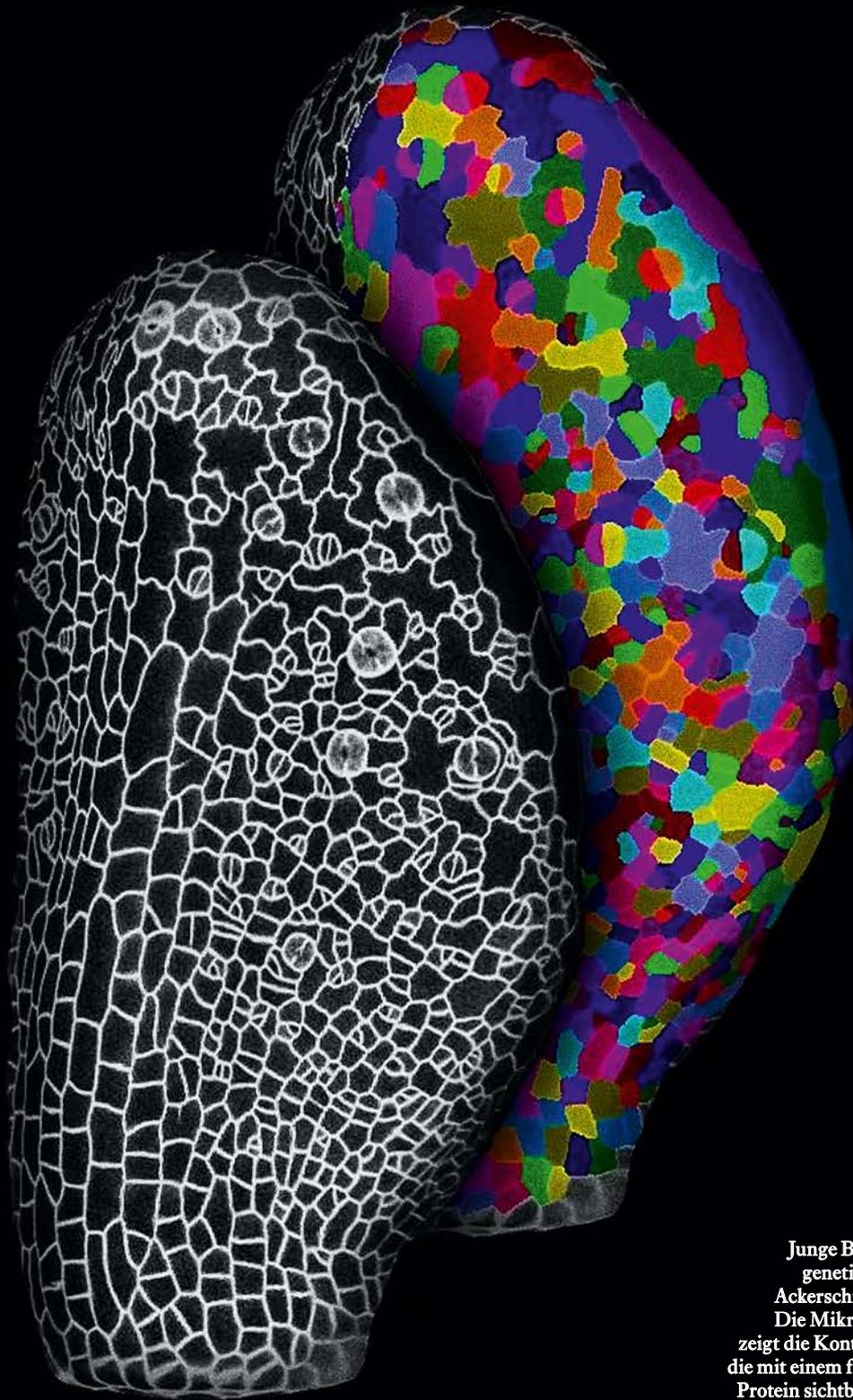
GRAFIK: GCO NACH NAKAYAMA ET. AL. (2014). REGULATION OF THE KNOX-GA GENE MODULE INDUCES



Blattvielfalt innerhalb der Kreuzblütlergewächse: Andersartige Blätter kommen nicht nur bei verschiedenen Pflanzenarten vor (A), auch ein und dieselbe Pflanze kann je nach Alter unterschiedliche Blätter bilden (B). Auch die Umweltbedingungen beeinflussen die Blattform (C).



Eine Blattknospe des Behaarten Schaumkrauts unter dem Mikroskop. Während Zellen, in denen das RCO-Gen aktiv ist (pink), sich nicht vermehren, teilen sich die dazwischenliegenden Zellen weiter. So können sich die Fiederblättchen der Schaumkrautblätter entwickeln.



Junge Blattknospe einer genetisch veränderten Ackerschmalwand (links). Die Mikroskopaufnahme zeigt die Konturen der Zellen, die mit einem fluoreszierenden Protein sichtbar gemacht sind. Mithilfe des Computers können die Zellen derselben Knospe farbig markiert (rechts) und die Vermehrung einzelner Zellen untersucht werden.

RCO-Gen hervorrufen und erneut beobachten, wie sich einfache Blätter bilden. Damit war klar, dass dieses Gen die Blattform kontrolliert. Da die Blätter des Behaarten Schaumkrauts ohne das Gen weniger komplex aufgebaut sind, taufen die Forschenden es RCO („Reduced Complexity“).

Als Nächstes untersuchte Tsiantis' Team genauer, wie sich die Schaumkrautblätter entwickeln. Die Forschenden markierten Proteine mit Fluoreszenzfarbstoffen und konnten so unter dem Mikroskop beobachten, dass das RCO-Gen punktuell am Blattrand aktiv ist – und zwar an der Basis der sich entwickel-

„Das RCO-Gen ist eine meiner wichtigsten Entdeckungen, weil es so anders als andere Gene ist.“

MILTOS TSIANTIS

den Fiederblättchen. Es hemmt das Zellwachstum an diesen Stellen, während die Zellen zwischen den RCO-Banden weiterwachsen. Die auf diese Weise entstehenden Wülste wachsen allmählich zu Fiederblättchen. „Dank RCO können so statt einer zusammenhängenden Blattfläche voneinander getrennte Fiederblätter entstehen“, erklärt Tsiantis.

Wenn RCO also ein Schlüsselgen für die Blattform ist, müsste eine Ackerschmalwand mit künstlich übertragenem RCO-Gen ebenfalls Fiederblättchen entwickeln. Und tatsächlich: Eine genetisch veränderte Ackerschmalwand mit RCO besitzt rundliche Blätter mit deutlich sichtbaren Ausbuchtungen. Zwar wachsen den Pflänzchen keine auf Stielen sitzenden Fiederblätter, die Ähnlichkeit mit dem Behaarten Schaumkraut ist jedoch wirklich verblüffend. „Die Ergebnisse dieser Experimente waren in der Fachwelt eine kleine Sensation, denn es ist sehr selten, dass ein einzelnes Gen die Unterschiede zwischen Pflanzenarten derart stark beeinflusst“, sagt Miltos Tsiantis. „Wir hatten eigentlich erwartet, dass viele Gene mit jeweils kleinen Auswirkungen an Veränderungen so grundlegender Merkmale beteiligt sind.“ Zusammen mit Donovan Bailey von der New Mexico State University hat Tsiantis daraufhin die Stammesgeschichte der Kreuzblütler untersucht, um der Entstehungsgeschichte des Gens auf den Grund zu gehen. Demnach besaßen die Kreuzblütler ursprünglich kein RCO-Gen. Arten, die ent-

wicklungsgeschichtlich alten Mitgliedern der Familie ähneln, haben daher einfache Blätter. Als RCO im Laufe der Evolution durch die Verdopplung eines Gens entstand, konnten Arten wie das Behaarte Schaumkraut oder die mit der Ackerschmalwand noch enger verwandte *Arabidopsis lyrata* tief eingekerbte oder Fiederblätter ausbilden. Später in der Stammesgeschichte ist das Gen dann wieder verloren gegangen, sodass die Ackerschmalwand einfache Blätter bilden konnte. Seit der Entdeckung des RCO-Gens hat das Team um Miltos Tsiantis die Steuerung des Blattwachstums noch genauer ergründet. Tsiantis' Arbeit ist zwar Grundlagenforschung, seine Erkenntnisse könnten aber durchaus praxisrelevant sein, zum Beispiel für die Landwirtschaft: „Mit dem Klimawandel könnte das Wissen um die Entstehung unterschiedlicher Blattformen immer wichtiger werden und einen Beitrag zur Züchtung nachhaltiger und ertragreicherer Pflanzen leisten.“ Als Miltos Tsiantis 2013 von Oxford an das Kölner Max-Planck-Institut kam, setzte er sofort auf den Einsatz hochmoderner Mikroskope. Mit ihnen kann seine Postdotorandin Neha Bhatia einzelne Zellen sichtbar machen. Mit großem Geschick schneidet sie dafür den nur wenige Millimeter langen Keimlingen die ersten Blättchen ab und legt diese unter das Mikroskop. Dann schaltet Bhatia den Bildschirm ein, stellt scharf, und schon leuchten die Zellen mit den Fluoreszenzfarbstoffen auf. „Wir können inzwischen gleichzeitig mehrere Gene mit unterschiedlichen Farben markieren und so erkennen, wo im Blatt die Gene gerade aktiv sind“, erklärt die Wissenschaftlerin.

Inzwischen haben die Forschenden entdeckt, dass RCO zusammen mit dem sogenannten STM-Gen die Bildung von Fiederblättchen hervorruft. Während RCO das Blattwachstum hemmt, bewirkt STM, dass Zellen weiterwachsen, ohne sich zu einem bestimmten Zelltyp weiterzuentwickeln. Normalerweise teilen sich Zellen zwar nicht mehr, wenn sie sich spezialisieren. Doch mit aktivem STM können sich die Zellen vermehren, sodass das Blatt an dieser Stelle in die Breite wächst. Auf diese Weise bildet der Blattrand breite Ausstülpungen. „Wenn wir beide Gene in den Blättern der Ackerschmalwand aktivieren, sehen diese aus wie die des Behaarten Schaumkrauts“, erzählt Miltos Tsiantis. Mit dem Wissen, warum sich Pflanzen in diesem und anderen Merkmalen unterscheiden, lassen sich dann auch die Merkmale von Nutzpflanzen verändern. Doch es sind nicht die Gene allein, welche die Form eines Blattes bestimmen. Auch der mechani-

AUF DEN PUNKT GEBRACHT

Die Entwicklung des Behaarten Schaumkrauts zu einem Modellsystem der Pflanzenforschung hat neue Erkenntnisse darüber geliefert, wie sich Pflanzen entwickeln. Das sogenannte RCO zum Beispiel ist eines der Gene, die die Form eines Blattes maßgeblich bestimmen.

RCO ist in regelmäßigen Abständen in Zellen am Blattrand aktiv. Es verhindert, dass die Zellen sich teilen.

Das STM-Gen ist ebenfalls am Blattrand aktiv, allerdings in den Zellen ohne aktives RCO. Da es die Vermehrung der Blattzellen unterstützt, kann das Blatt an diesen Stellen in die Breite wachsen. Zusammen mit RCO können sich so Ausbuchtungen bis hin zu voneinander getrennten Fiederblättchen entwickeln.

SICH ENTWICKELNDES BLATT DER ACKERSCHMALWAND

- Wachstum
- Wachstumshemmung



Eine Wachstumszone bildet einen Gradienten von starkem (grün) zu geringem (grau) Wachstum.

Zonen mit Wachstumsaktivierung und -hemmung wechseln einander ab und führen zu Ausbuchtungen des Blattrandes.

Mit zunehmender Größe des Blattes entstehen weitere lokale Wachstumszonen.

sche Widerstand des Blattgewebes, den dieses wachsenden Zellen entgegensetzt, beeinflusst die Blattentwicklung. Adam Runions, ein Informatiker aus Miltos Tsiantis' Team, hat ein mathematisches Modell entwickelt, das physikalische Wechselwirkungen im Blattgewebe berücksichtigt. Damit kann er virtuelle Blätter sprießen lassen. „Wir können zum Beispiel mit unserem Modell unsere Vermutungen über die Funktion eines Gens testen und so die Gesetzmäßigkeiten identifizieren, nach denen sich die Blätter entwickeln“, sagt Tsiantis.

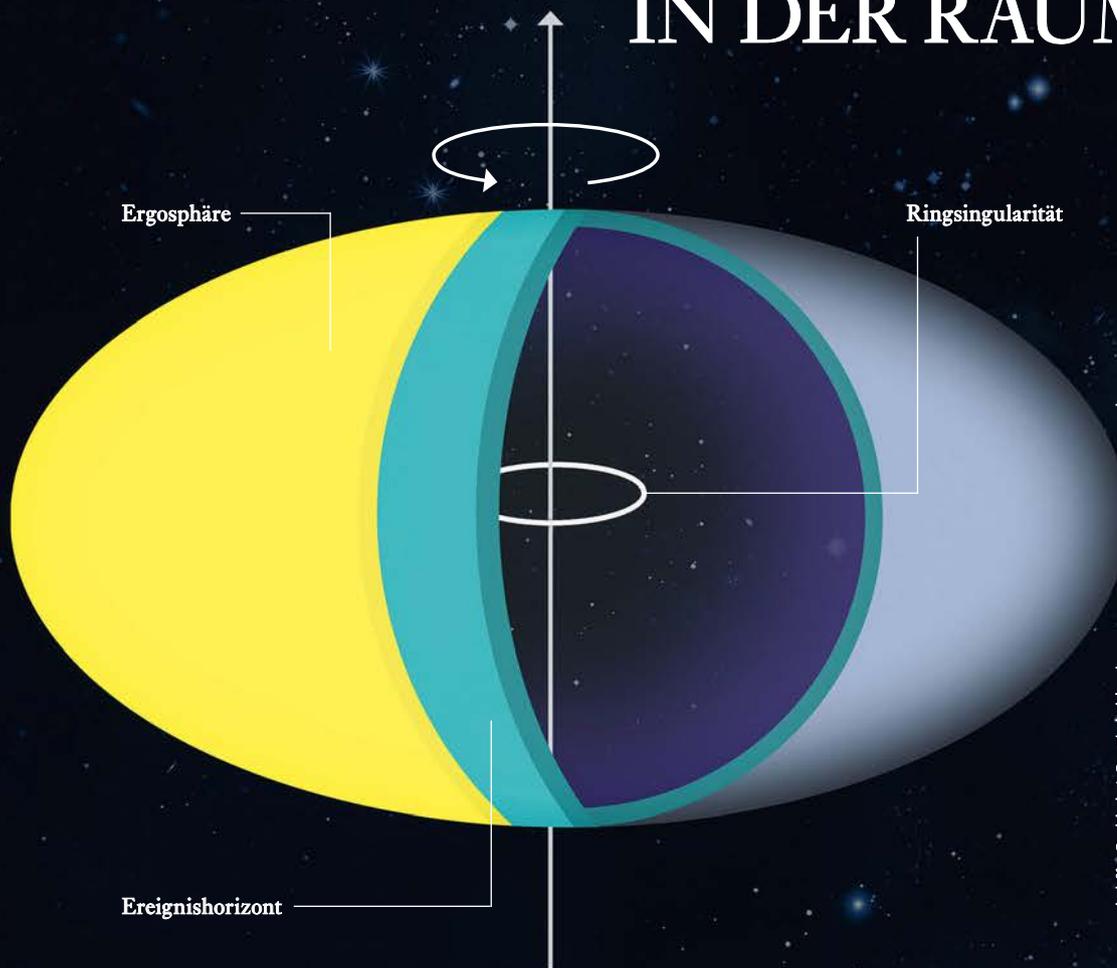
Warum aber besitzen Pflanzen überhaupt so unterschiedliche Blätter? Bei der Beantwortung dieser Frage hilft ein Blick darauf, wie die Umgebung einer Pflanze die Blattform beeinflusst. Das Team von Miltos Tsiantis analysiert daher Schaumkrautpflanzen in Europa und anderen Teilen der Welt. „Wir haben zum Beispiel beobachtet, dass Pflanzen an Orten, wo sie schnell blühen und sich schnell vermehren können, auch schneller mehr Fiederblättchen produzieren. Diese Strategie könnte eine effizientere Bindung von Kohlenstoff und folglich von Nährstoffen für die nächste Generation ermöglichen. Umgekehrt warten Pflanzen in Gebieten wie Mitteleuropa oder Skandinavien, in denen sie spät blühen, weil sie einen kalten Winter überstehen müssen, mit der Bildung von Fiederblättchen bis kurz vor der Blüte. Auch dies könnte dazu dienen, die Samen, die sich bald nach der Blüte bilden werden, besser mit Nährstoffen aus den Blättern zu versorgen“, erklärt der Wissenschaftler. Die verschiedenen Methoden, der Ideenreichtum und die

ungewöhnlichen Wege und Perspektiven von Tsiantis und seinem Team haben wichtige Erkenntnisse über das Blattwachstum möglich gemacht. Er selbst betrachtet das RCO-Gen als eine seiner wichtigsten Entdeckungen – „weil es uns besonders anschaulich zeigt, wie in der Evolution Neuheiten entstehen können“.

Die allermeisten Gene besitzen mehrere Aufgaben. Aus diesem Grund können Mutationen eines Gens ganz unterschiedliche Veränderungen hervorrufen. Eine Mutation kann eine Verbesserung der einen Funktion bewirken und zugleich eine Verschlechterung einer anderen. Fachleute sprechen dabei von Pleiotropie. „Stellen Sie sich vor: Ein Vogel entwickelt Flügel, mit denen er besser fliegen kann. Wenn die dafür verantwortlichen Veränderungen im Erbgut auch die Farbe des Vogels betreffen und ihn damit für Partner unattraktiver machen, wird sich die Änderung der Flügelform sehr wahrscheinlich nicht durchsetzen können“, erklärt Miltos Tsiantis. RCO dagegen ist ein Gen, das kaum pleiotrop ist. Es steuert maßgeblich die Form der Blätter, hat aber ansonsten kaum weitere Aufgaben. „Am Beispiel von RCO kann man deshalb nicht nur das Geheimnis der Vielfalt von Blättern lüften, sondern auch lernen, wie die Evolution funktioniert.“ So ist die Rolle von RCO bei der Bildung getrennter Fiederblättchen vergleichbar mit der Trennung von Fingern und Zehen an sich entwickelnden Gliedmaßen. Allerdings wird in diesem Fall die Trennung vorwiegend dadurch erreicht, dass Zellen gezielt absterben, und nicht dadurch, dass sie im Wachstum gehemmt werden.

www.mpg.de/podcasts/vielfalt

SCHWARZE LÖCHER – FALLEN IN DER RAUMZEIT



Abstrakte Mathematik bestimmt den strukturellen Aufbau eines rotierenden schwarzen Lochs. Niemand kann sich etwa vorstellen, dass eine *Ringsingularität* keine Ausdehnung hat. Anschaulicher ist der *Ereignishorizont*: Er definiert Größe und Grenze, jenseits derer es für Licht oder Materie kein Zurück mehr gibt. Innerhalb der *Ergosphäre* muss alles mit dem schwarzen Loch mitrotieren.

46



Unglaubliches Gedankenexperiment: Presst man die Erde auf die Größe einer Kirsche zusammen, verwandelt man sie in ein schwarzes Loch.

THEORIE

Im Jahr 1783 denkt John Michell über „Dunkle Sterne“ nach, die wegen ihrer Gravitation kein Licht aussenden.

In seiner allgemeinen Relativitätstheorie schafft Albert Einstein 1915 die mathematischen Grundlagen für derartige Objekte. Karl Schwarzschild beschreibt ein Jahr später die Geometrie eines statischen schwarzen Lochs.

BEOBACHTUNG

Anfang der 1970er-Jahre wird das erste stellare schwarze Loch (Cygnus X-1) als Teil eines Doppelsternsystems entdeckt. Dieser indirekte Nachweis gelingt mit einem Röntgensatelliten. Der registriert energiereiche Strahlung aus der heißen Gasscheibe (Akkretionsscheibe), die das schwarze Loch umgibt.

Die Gruppen um Andrea Ghez (University of California, Los Angeles) und Reinhard Genzel (Max-Planck-Institut für extraterrestrische Physik) beobachten seit den 1990er-Jahren Sternbahnen im Zentrum unserer Milchstraße und schließen daraus auf die Existenz eines schwarzen Lochs von 4,3 Millionen Sonnenmassen. Ghez und Genzel erhalten dafür den Nobelpreis für Physik 2020.

VERSCHIEDENE ARTEN

Je nach Masse unterscheidet man vier Typen von schwarzen Löchern:

Supermassereiche schwarze Löcher
 Masse: zwischen einigen Millionen und Milliarden Sonnenmassen
 Herkunft: Verschmelzung von vielen schwarzen Löchern mit mehreren Hundert Sonnenmassen, Kollisionen von Galaxien oder Aufsammeln von Masse aus der Umgebung

Stellare schwarze Löcher
 Masse: zwischen 3 und 65 Sonnenmassen
 Herkunft: Supernova (Wie schwerere schwarze Löcher bis 120 Sonnenmassen entstehen, ist noch unklar)

Primordiale schwarze Löcher
 Masse: entspricht etwa der des Erdmondes
 Herkunft: Urknall

Mittelschwere schwarze Löcher
 Masse: zwischen 120 und 100 000 Sonnenmassen
 Herkunft: Kollision von stellaren schwarzen Löchern, Verschmelzung massereicher Sterne oder Urknall

In den 1960er-Jahren erlebt die Relativitätstheorie durch neue Beobachtungen eine Renaissance. Roger Penrose (Physik-Nobelpreis 2020) und Stephen Hawking zeigen, dass es in einem schwarzen Loch eine Singularität unendlicher Dichte sowie eine unendliche Krümmung der Raumzeit gibt.

Am 14. September 2015 gehen zum ersten Mal die von Einstein prognostizierten Gravitationswellen ins Netz. Sie stammen von der Verschmelzung zweier schwarzer Löcher mit 29 und 36 Sonnenmassen.

Im Jahr 2019 veröffentlichten Forschende das erste Bild eines schwarzen Lochs. Es entstand mit dem Event Horizon Telescope, einem Netzwerk aus acht über den halben Globus verteilten Radioobservatorien, und zeigt das Massemonster im Herzen der Galaxie M87.

BILDER: ISTOCK; NASA, ESA, AND J. BAÑO ETZ AND D. MILLER/JEVIĆ (PURDUE UNIVERSITY); ISTOCK; ISTOCK; S. OSSOKIN, E. A. BUCANANO (MPI FÜR GRAVITATIONSPHYSIK); SIMULATING EXTREME SPACETIME PROJEKT, D. STEINHÄUSER (AIRBORNE HYDRO MAPPING GMBH); EHT-KOLLABORATION (VON OBEN NACH UNTEN)

VON CORONA ANGESTECKT

Seit Beginn der Corona-Epidemie in Deutschland hat sich das Leben von Viola Priesemann ziemlich verändert: Nun forscht die Leiterin einer Forschungsgruppe am Max-Planck-Institut für Dynamik und Selbstorganisation nicht mehr nur zur Informationsverarbeitung im Gehirn, sondern auch zur Ausbreitung des Virus. Und seither gehören zu ihrem Alltag auch Politikberatung, Interviews und Auftritte im Fernsehen.

TEXT: UTA DEFFKE

Es ist ein Abend Ende März 2020, nach 23 Uhr, als sich Viola Priesemann in ihrem Göttinger Homeoffice noch einmal an den Computer setzt. Die Physikerin will keine neuen Modelle entwickeln, keine Rechnungen ausführen, nicht an einem neuen Paper feilen. Ihr Anliegen ist ein anderes: Sie entwirft als Wissenschaftlerin eine Stellungnahme für die Politik. Erst seit wenigen Wochen hält die Coronavirus-Pandemie die Welt in Atem. Auch Deutschland ist jetzt im Lockdown: Veranstaltungen sind verboten, Kitas, Schulen und Universitäten geschlossen, ebenso die meisten Geschäfte, Restaurants und kulturellen Einrichtungen. Social Distancing ist das Gebot. Selbst auf den Straßen der Großstädte herrscht eine beinahe gespenstische Ruhe.

In Viola Priesemann aber brodelte es. Seit wenigen Wochen erst befasst sich die Leiterin der Max-Planck-Forschungsgruppe „Theorie Neuronaler Systeme“ am Göttinger Max-Planck-Institut für

Dynamik und Selbstorganisation mit der Ausbreitung des Virus und der Wirksamkeit der Gegenmaßnahmen. Und doch hat die Physikerin bereits erkannt: Die Pandemie lässt sich langfristig nur mit niedrigen Fallzahlen kontrollieren. Nur so könnten zu große gesundheitliche, gesellschaftliche und wirtschaftliche Kollateralschäden vermieden werden. Ein Lockdown müsse die Fallzahlen so weit reduzieren, dass es den Gesundheitsämtern gelingt, einen guten Teil der Fälle durch konsequentes Testen und Nachverfolgen aufzuspüren und zu isolieren. Auf dieser Basis wären dann wieder Lockerungen möglich. Denn dann ließen sich lokal aufflammende Herde schnell erkennen und mit kurzen, aber harten Maßnahmen leicht wieder eindämmen.

Das haben Priesemanns Berechnungen mehrerer alternativer Szenarien ergeben. Und das schreibt sie in den Entwurf ihrer Stellungnahme. „Ich hatte plötzlich den Eindruck, dass wir in meiner Arbeitsgruppe Sachen wissen, die für die Gesellschaft wichtig sind, die andere aber noch nicht wissen. Das ist ein ganz komisches Gefühl.“ Die Forscherin ist sich damals sicher, dass uns die Pandemie noch viele Monate beschäftigen wird. Ihre Einschätzung zu den Vorteilen eines möglichst kurzen, harten Lockdowns teilen Kolleginnen und Kollegen aus der Psychologie, den Sozialwissenschaften und der Wirtschaft. Mit ihnen tauscht sie sich über ihre Ergebnisse aus. Denn ihr ist klar: Die eigenen epidemiologischen Erkenntnisse über die Ausbreitung der Pandemie sind nur ein Blickwinkel auf die Entwicklung. Besonders beeindruckt hat sie ein Artikel im US-amerikanischen Wirtschaftsmagazin *Economist* über die „90-Prozent-Ökonomie“: Ein kurzer, starker Einbruch schade der Wirtschaft weniger, als wenn sie über Monate oder Jahre immer wieder eingeschränkt werde.

—>

BESUCH BEI

VIOLA
PRIESEMANN

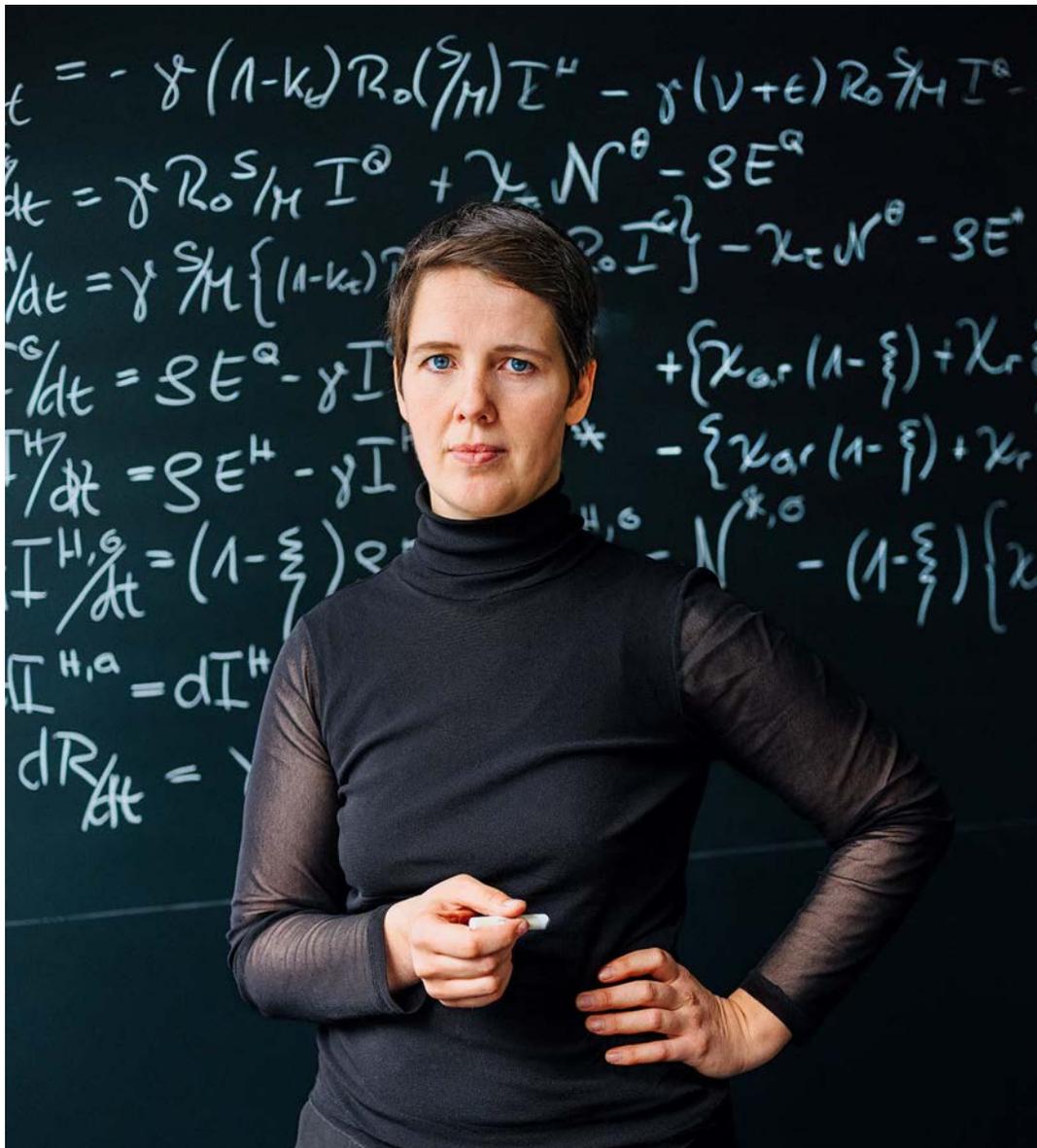


FOTO: JULIA STEINIGEWEG

Theoretikerin der Epidemie: Viola Priesemann entwickelt mathematische Modelle für die Informationsverarbeitung im Gehirn. Mit ähnlichen Methoden lässt sich auch die Ausbreitung des Coronavirus beschreiben.



FOTO: JULIA STEINIGEWEG

50

Seltener Ausgleich: Wenn es die Zeit erlaubt, geht Viola Priesemann gern zum Ponyreiten. Derzeit findet sie jedoch kaum Gelegenheit dafür.

Priesemann stimmt ihren Entwurf mit Kolleginnen und Kollegen der anderen großen deutschen Forschungseinrichtungen ab. „Es war wichtig und gut zu sehen, dass wir alle – mit unseren jeweiligen Ansätzen – zu den gleichen Schlussfolgerungen kamen“, sagt sie. Eine erste Version des Papiers gelangt schnell in die Politik. Trotzdem verhält die Frühjahrsbotschaft der Forschungseinrichtungen weitgehend in der „Öffnungsdiskussionsorgie“, wie Bundeskanzlerin Merkel die Debatten in den Bundesländern bezeichnet haben soll. Als das Papier am 28. April offiziell erscheint, ist das Ende des Lockdowns bereits beschlossen. Doch eine zweite Welle wird kommen, spätestens im Herbst, da sind sich die Forschenden sicher.

Über den Sommer kehrt ein wenig Ruhe ein. Jedenfalls in den Krankenhäusern und Gesundheitsämtern. Viola Priesemann arbeitet weiter auf Hochtouren. Sowohl an Corona als auch an ihren anderen wissenschaftlichen Projekten. Denn eigentlich

erforscht die Physikerin Prozesse der Informationsverarbeitung im Gehirn – auf theoretischer Ebene. Um zu verstehen, weshalb sie sich in das Corona-Thema gestürzt hat, muss man in ihrer Karriere ein paar Schritte zurückgehen.

Dass sie überhaupt in der Wissenschaft landen würde, war lange nicht klar. Mit einem Großvater, der als Altphilologe und Pädagoge Vizepräsident der Uni Kiel war, stammt sie zwar aus einem bildungsbürgerlichen Umfeld, doch dass auch Frauen Forscher, Erfinder oder gar Professor werden können, kam ihr lange nicht in den Sinn. So erinnert sie sich, dass der Vater einer Schulfreundin von seiner Arbeit in der Spracherkennung erzählte, der Übersetzung von gesprochener Sprache in Schrift: „Heute hat das mit Methoden des Deep Learning einen Durchbruch erlebt, und schon damals fand ich das sehr cool. Gleichzeitig war mir unbewusst klar: Ich werde das nicht machen.“ Weil Frauen so etwas nicht machen. Studieren war dennoch ange-

sagt, in Darmstadt. Die Physik reizte sie, denn da war schon immer dieser Drang, die Welt zu verstehen. „Rückblickend war die Physik die perfekte Grundlage für das, was ich jetzt gern mache“, sagt sie. Am meisten fasziniert ist sie von der Theorie komplexer Systeme: Wie entstehen Schwärme? Warum haben Zebras Streifen? Wie bilden sich natürliche Strukturen? Dahinter steckt die Frage, wie aus vielen einzelnen Teilchen ein großes Ganzes mit ganz eigenen Eigenschaften wird. Im fünften Semester entdeckt sie plötzlich an einer Bürotür ein neues Schild: Prof. Barbara Drossel. „Da wurde mir erstmals richtig bewusst: Krass, als Frau kann man wirklich Professor werden. Ich also auch – rein theoretisch.“

cherten Informationen zusammengebracht werden muss, das will Viola Priesemann mithilfe mathematischer Methoden verstehen. Was sie in Wolf Singers Gruppe außerdem reizt, ist deren interdisziplinäre Ausrichtung: Hier arbeitet sie zusammen mit Physikerinnen, Psychologen, Biologinnen, Philosophen. Klar ist: Die Prozesse im Gehirn laufen selbstorganisiert ab, denn ein derart großes und komplexes Netzwerk kann man nicht programmieren. Dabei bestimmen lokale Lernregeln, wie stark sich die Synapsen jeweils ausprägen. Einsichten in diese Prozesse helfen einerseits, das biologische Gehirn besser zu verstehen. Andererseits ermöglichen sie die Optimierung künstlicher neuronaler Netzwerke.

„Es ist eine unglaublich dynamische Zeit, auch für uns Wissenschaftlerinnen. Denn es gibt jeden Tag neue Informationen.“

51

Ganz praktisch kommen ihre Berufswünsche während eines Erasmus-Studienjahres noch einmal ins Wanken: Als passionierte Reiterin von Kindesbeinen an – „manche haben einfach ein Pferd“ – geht sie nach Lissabon. Dort gibt es eine große Tradition der klassischen Dressur. Priesemann verbringt mehr Zeit auf dem Rücken der Pferde als im Hörsaal. Aber dennoch steht am Ende fest: Die berufliche Zukunft soll auf jeden Fall in der Physik liegen.

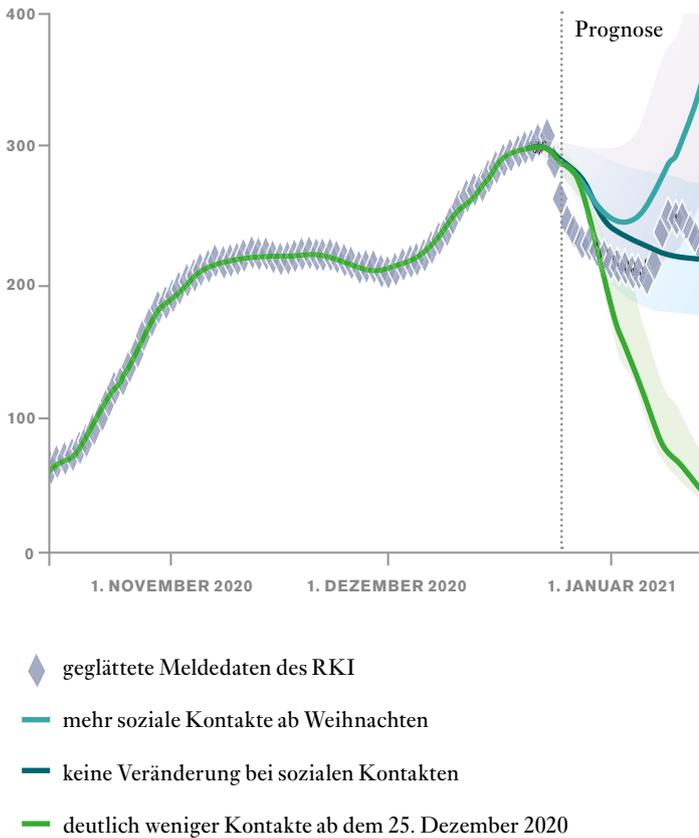
Das Thema ihrer Diplomarbeit sucht sie sich sorgfältig aus: Es soll etwas sein, das komplex ist und für das tägliche Leben Bedeutung hat. Und so landet sie beim Gehirn und bei Wolf Singer, Direktor am Max-Planck-Institut für Hirnforschung in Frankfurt/Main, in den theoretischen Neurowissenschaften. Denn auch das Gehirn ist ein komplexes System – vielleicht sogar das komplexeste, das wir kennen. Und beim Erforschen des Denkens und Lernens geht es ganz wesentlich um Strukturbildung. Jedes einzelne der 80 Milliarden Neuronen interagiert mit Tausenden anderer Neuronen, indem es Verbindungen schafft, sogenannte Synapsen. Wie es auf diese Weise gelingt, Information zu verarbeiten, die zum Beispiel über die Sinnesorgane im Gehirn ankommt und mit bereits gespei-

Gleich zu Beginn der Diplomarbeit gelingt Viola Priesemann eine wichtige Entdeckung. Wer ein so komplexes und großes System wie das Gehirn betrachtet, muss sich notgedrungen darauf beschränken, jeweils Teile davon zu untersuchen. Lange dachte man, daraus lasse sich auf das große Ganze schließen, da das Gehirn ein skalenfreies System ist. Wie bei einem Fraktal, das sich in sich selbst ähnelt, wenn man in hineinzoomt, sollte es egal sein, ob ein großer oder kleiner Teil betrachtet wird. Anhand widersprüchlicher Daten entdeckte Priesemann jedoch, dass die Eigenschaften eines skalenfreien Systems – anders als das System selbst – nicht skalenfrei erscheinen, wenn man nur einen kleinen Teil betrachtet. Die Eigenschaften des Teilsystems sind also nicht einfach auf die Eigenschaften des Gesamtsystems übertragbar. Diese Erkenntnis gilt nicht nur für das Gehirn, sondern ganz allgemein.

Eine solche Entdeckung gibt Selbstbewusstsein – und stählt in der wissenschaftlichen Auseinandersetzung. Denn eine Jungforscherin macht sich nicht gerade beliebt, wenn sie an etablierten Theorien rüttelt. Für Viola Priesemann ist sie auch Ausgangspunkt für ihre weitere Forschungsarbeit. Denn nun stellt sich die Frage, wie dennoch Rück-

—>

NEUE FÄLLE PER 1 MILLION EINWOHNER



52

schlüsse vom Teil- auf das Gesamtsystem möglich sind. Hierfür entwickelt die Wissenschaftlerin mathematische Methoden.

Dennoch sucht sie sich für die Doktorarbeit ein neues Thema, an der Schnittstelle zwischen Theorie und Experiment und um sich für die Zukunft noch breiter aufzustellen. Und so führt ihre Dissertation sie zuerst an die École Normale Supérieure in Paris und dann an das Caltech in Kalifornien zu Gilles Laurent, dem sie zurück ans Max-Planck-Institut für Hirnforschung folgt, als er dort Direktor wird. Das bedeutet vor allem: harte Lehrjahre beim Aufbau eines Labors. Vor Technik und praktischer Arbeit scheute Viola Priesemann aber schon als Kind nicht zurück: Den Familientoaster hat sie eigenhändig repariert, weil sie partout keinen neuen haben wollte. In ihrem Labor hat sie es mit sensibleren Objekten zu tun: den Gehirnen von Schildkröten – ein gutes Modellsystem, an dem man untersuchen kann, welche Rolle der Cortex, den wir als äußere gewellte Hirnstruktur kennen, beim Sehen und bei der Verarbeitung visueller Information spielt. Dabei hat sie von ihrem Doktorvater auch Entscheidendes für das wissenschaftliche Arbeiten allgemein gelernt: „Man

Szenarien der Epidemie: Mit dem Modell von Viola Priesemanns Gruppe lassen sich die Zahlen der Neuinfektionen nachvollziehen und unter verschiedenen Annahmen Prognosen für die künftige Entwicklung berechnen. Der deutliche Rückgang über den Jahreswechsel ist auf die verminderten Tests in dieser Zeit zurückzuführen. Der vorübergehende Anstieg im Januar beruht teilweise auf der Rückkehr zum normalen Testgeschehen und teilweise auf vermehrten Kontakten zu Weihnachten.

freut sich erst mal über eine Beobachtung, die zu den Hypothesen passt. Aber dann fängt die eigentliche Arbeit erst an. Man muss hinterfragen, überprüfen und selbst sein kritischster Reviewer sein.“

Im Jahr 2013 kehrt Priesemann zur Theorie zurück – und wechselt an das Max-Planck-Institut für Dynamik und Selbstorganisation in Göttingen: „Ich kann Experiment. Aber ich liebe es, Daten zu verstehen und die Theorie dazu zu machen.“ Zunächst als Postdoc, dann aber bald schon als Bernstein-Fellow und Max-Planck-Forschungsgruppenleiterin: „Damit war ich unabhängig, hatte mein eigenes Budget und konnte mit einem zusätzlichen Forschungs-Grant meine ersten Studierenden einstellen.“ Dabei hat sie durchaus ein gutes Händchen. Von einem ihrer Mentoren hat sie gelernt, dass es auch auf den Unterhaltungswert einer Person ankommt. Mittlerweile ist ihr Team auf rund zwanzig Forschende angewachsen.

Zu ihren wichtigsten Ergebnissen gehört eine Lernregel dafür, wie sich die Neuronen zu stabilen und effektiven Netzen zusammenschalten, um beliebige Informationen zu verarbeiten, und wie sie dafür ihre Verbindungsstärke einstellen. Die Verbindungsstärke ist nicht, wie lange vermutet, eine fixe Größe, sondern passt sich der jeweiligen Aufgabe an. Das hat Priesemanns Team mit experimentell arbeitenden Kollegen aus Heidelberg im Rahmen des Human Brain Project herausgefunden. Hierfür nutzten die Forschenden künstliche Neuronen aus Halbleitermaterialien, aus denen sich relativ große Netzwerke konstruieren lassen und die nach den implementierten Regeln selbst lernen.

Als im Frühjahr 2020 Corona ausbricht, laufen bei Viola Priesemann gleich die eigenen Synapsen heiß: „Es passte einfach zu gut“, findet sie. Hirnforschung und die Ausbreitung eines Virus? Im Gehirn breitet sich Information aus, indem ein Neuron seine Nachbarn aktiviert, bei Corona steckt ein Mensch seine Nachbarn an. „Dabei ziehen wir in beiden Fällen aus der Beobachtung eines kleinen Teils unter großer Unsicherheit Schlüsse auf das große Ganze: aus der Aktivität einiger Hundert Neuronen

GRAPHIK: GCO NACH MPI FÜR DYNAMIK UND SELBSTORGANISATION



Ergebnisse vor anderen Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftlern zu präsentieren, gehört zur normalen Arbeit einer Forschungsgruppenleiterin. Mit ihren Erkenntnissen zur Corona-Epidemie sucht Viola Priesemann aber auch Gehör bei Politik und Öffentlichkeit – eine neue Erfahrung für die Physikerin.

53

auf die Informationsverarbeitung im Gehirn; aus vergleichsweise wenigen bekannten Corona-Fällen auf die Ausbreitung des Virus in der Bevölkerung.“ Angefixt von dieser Parallelität und motiviert durch die gesellschaftliche Relevanz, stürzt sich Priesemann auf das Thema. Die Grundausstattung an mathematischen Werkzeugen dafür gibt es bereits. Sie werden weiterentwickelt und an neue Fragestellungen angepasst. Für alles, was man rund um Viren wissen muss, vernetzt sie sich rasch mit Experten: mit Medizinern, Virologinnen, Epidemiologen. Dazu, für den ganzheitlichen Blick, mit Psychologinnen sowie Wirtschafts- und Sozialwissenschaftlern. Erst in Göttingen, dann in aller Welt. „Dieser interdisziplinäre Austausch hat mich schon immer interessiert“, sagt Priesemann und erinnert sich an die Salons aus ihrer Frankfurter Zeit: „Damals war dort der Hotspot der Finanzkrise. Mein Partner und ich haben das im großen Kreis mit Freunden aus Philosophie, Soziologie, Ökonomie in allen Dimensionen zu verstehen versucht.“ Die Spannungen und Kontraste waren in der Bankenstadt Frankfurt hautnah zu erleben. Nach Corona möchte sie solche Salons wiederbeleben, zu Themen wie

Machtkonzentration, Selbstorganisation, soziale Gerechtigkeit. Was die Ausbreitung von Infektionskrankheiten angeht, so ist diese seit den 1970er-Jahren eigentlich gut verstanden und kaum noch ein aktives Forschungsfeld. Trotzdem konnte Priesemann mit ihren mathematischen Methoden aus der Hirnforschung neue Akzente setzen und nun viel komplexere Einflüsse modellieren. „Es ist eine unglaublich dynamische Zeit, auch für uns Wissenschaftlerinnen. Denn es gibt jeden Tag neue Informationen. Neue Zahlen, neue Veröffentlichungen. Ich habe mit unglaublich vielen Menschen gesprochen, das Team vergrößert, nach außen die Pressearbeit gemacht und Stellungnahmen geschrieben. Manchmal weiß ich gar nicht, wie ich das geschafft habe – Montag bis Sonntag von sechs Uhr früh bis Mitternacht“, berichtet die Physikerin.

Zumal ja auch für sie gilt: Es herrscht Corona – mit all seinen Einschränkungen und Unsicherheiten. Allerdings beeinträchtigt das Virus ihre eigene Forschung nur wenig – trotz Homeoffice mit Kita-Kind seit März. „Wir arbeiten rein theoretisch. Dazu brauchen wir vor allem einen freien Kopf und

→

dann Großrechenmaschinen – und die können wir auch von zu Hause steuern.“ Mit ihrem Team kommt sie in zwei Videoräumen zusammen, die quasi rund um die Uhr geöffnet sind. Einer für die Covid-Forschung, der andere für die Neurowissenschaften. Das funktioniere bestens, sagt sie. Alle arbeiten wunderbar zusammen, verstreut in Hamburg, Leipzig, Hannover, Amsterdam, Lyon, Granada. Im Sommer treffen sich regelmäßig kleine Gruppen zu ausgedehnten Spaziergängen am Institut, das wunderschön im Grünen liegt. Das helfe, ein neues Projekt zu entwickeln, auch mal längere Gedanken durchzugehen – im wahrsten Sinne des Wortes.

Ein wichtiges Ergebnis des Herbstes ist, dass es neben einem R-Wert über 1 einen weiteren Kipppunkt der Epidemie gibt: die Kapazität der Gesundheitsämter zur Nachverfolgung der Kontakte. Wenn diese nicht mehr ausreicht, breitet sich das Virus unkontrolliert aus. „Je länger man dann mit Gegenmaßnahmen wartet, umso schwieriger wird es, hohe Fallzahlen wieder einzudämmen.“ Diese Botschaft

ist sie sicher, muss ihre Veröffentlichungen rasch zur Kenntnis genommen haben. Das hat man in ihren Pressekonferenzen gehört. Was die Länderchefs angeht, gibt es Zweifel. Eigentlich wollte Priesemann ihre medialen Aktivitäten im November wieder herunterfahren – der Zeitaufwand ist enorm, außerdem stehen in ihrer wissenschaftlichen Karriere die nächsten Schritte an. Doch solange sich die Corona-Lage nicht entspannt und solange es immer neue, politisch relevante Erkenntnisse gibt, wird sie präsent bleiben.

So verfeinert sie das Corona-Modell derzeit so, dass es unter anderem die Altersstruktur der Bevölkerung, deren geografische Verteilung und die Unsicherheiten berücksichtigt. Bislang liegen den Rechnungen noch vergleichsweise einfache Annahmen über eine homogene Verteilung Infizierter zugrunde. Die Erweiterung des Modells soll helfen, Dunkelziffern und die Wirksamkeit von Maßnahmen genauer abschätzen zu können. Außerdem weitet Priesemann den Blick Richtung Europa. Sie koordiniert ein gemeinsames Positionspapier, das über

„Je länger man mit Gegenmaßnahmen wartet, umso schwieriger wird es, hohe Fallzahlen wieder einzudämmen.“

platziert Viola Priesemann im Oktober in Talkshows, Radiosendungen, Onlinemedien und Zeitungen, manchmal sogar auf der Titelseite. Trotzdem breitet sich die zweite Welle der Pandemie immer weiter aus. Die Forschung ist alarmiert, doch die Politik zögert. Erst für den 2. November wird ein Lockdown Light beschlossen. Ob sie die ergriffenen Maßnahmen für ausreichend halte, will Anne Will wissen. „Ein Absenken von R von 1,4 auf 0,7 kann gelingen, aber dafür brauchen wir eigentlich jeden Baustein“, formuliert es Priesemann vorsichtig und meint mit „Baustein“ alle möglichen Maßnahmen, um die Epidemie einzudämmen. Sie weiß: Die Wissenschaft kann nur Daten und Fakten liefern. Für die Güterabwägung, die Entscheidungen ist die Politik zuständig: „Das ist nicht das Metier, in das ich mich hineinwagen würde.“ Vier Wochen später erst beschließt die Politik, den Lockdown zu verschärfen. Viel zu spät für ein unbeschwertes Weihnachtsfest. Fühlt sich Viola Priesemann von der Politik ausreichend gehört? Die Kanzlerin, da

300 Kolleginnen und Kollegen aus vielen Ländern unterstützen, und veröffentlicht es im britischen Fachjournal *The Lancet*. Darin rufen die Forschenden dazu auf, die Zahl der Neuinfektionen auf etwa sieben pro 100 000 Einwohner und Woche abzusinken – in ganz Europa. Denn ein Virus kennt keine Grenzen.

Wann Corona die nächste Verschnaufpause zulässt, ist Anfang des Jahres 2021 nicht absehbar. Über Weihnachten jedenfalls machte Priesemann erst mal Pause. Zumindest als öffentliche Stimme. Ihre freie Zeit nutzt sie gern zum Reiten – ein Hobby, das auch andere Wissenschaftlerinnen betreiben: Bei einem Treffen mit der Präsidentin der Uni Frankfurt erfuhr sie, dass diese zwei Pferde besitzt. Und auch andere Spitzenwissenschaftlerinnen reiten: „Vielleicht ist es ein Sport starker Frauen“, sagt Viola Priesemann lachend. Gute Voraussetzungen also für die nächsten Karrieresprünge.



FORSCHUNG LEICHT GEMACHT

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

www.mpg.de/mpf-mobil

www.mpg.de/mpforschung

KOSTENLOS
DOWNLOADEN!



FALTKUNST MIT ERBGUT

TEXT: MARA THOMAS

56 Was ist Leben? Wie ist es entstanden? Und könnte es vielleicht auch völlig anders aussehen? Im Labor von Kerstin Göpfrich am Max-Planck-Institut für medizinische Forschung in Heidelberg geht es um Antworten auf die ganz großen Fragen. Der Plan der Forschungsgruppe ist nicht weniger ehrgeizig: künstliche Zellen schaffen und auf diese Weise herausfinden, was für das Leben unerlässlich ist.

Schon die einfachste Bakterienzelle ist derart komplex, dass das Zusammenspiel der unterschiedlichen Komponenten nur schwer zu entwirren ist. Was davon für das Leben der Zelle unabdingbar und was nur schmückendes Beiwerk ist, lässt sich ebenfalls nur mühsam bestimmen. „Da hilft eigentlich nur: selber bauen – denn getreu dem Motto des Physikers Richard Feynman habe ich etwas nur dann komplett verstanden, wenn ich es selbst erschaffen kann“, sagt Kerstin Göpfrich. Dieser Ansatz ist nicht nur das zentrale Leitmotiv ihrer eigenen wissenschaftlichen Arbeit, sondern eines ganzen Forschungsgebiets: der Synthetischen Biologie. Dabei nutzen einige Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler lebendige Zellen als Ausgangspunkt, andere beginnen bei einzelnen Zellkomponenten, die sie wie Teile eines Puzzles neu zusammensetzen wollen.

Manche Forschende gehen sogar noch einen Schritt weiter: Sie wollen eine Zelle von Grund auf neu entwerfen

und dabei möglichst ohne Bausteine aus der Natur auskommen. Weil sie fast ausschließlich neue, im Labor hergestellte Komponenten verwendet, bezeichnet Göpfrich diese Herangehensweise als „*de novo* Synthetische Biologie“. Die Vertreter dieses Ansatzes versuchen, sich von den natürlichen Bausteinen des Lebens zu lösen: Gibt es beispielsweise Alternativen zu Zellulose als Material für eine Zellwand? Welche Möglichkeiten der Energiegewinnung existieren für eine Zelle, und wie könnte diese Informationen speichern?

Bestandteile wie Zellmembran, Kern oder die Mitochondrien lassen sich auch einfach als Systeme für Verpackung, Informationsspeicherung und Energiegewinnung betrachten. Die Forschenden suchen nun nach Alternativen, die diese Aufgaben genauso gut oder besser als das natürliche Vorbild bewältigen. „Die Emanzipation von der Natur gibt uns viel kreativen Freiraum. Auf diese Weise können wir Hürden schneller umgehen“, erklärt Göpfrich. Eine Bedingung müssen die Systeme aus dem Labor aber in jedem Fall erfüllen: Sie sollen eines Tages eine neuartige Zelle ermöglichen, die alle Merkmale von Leben besitzt – insbesondere die Fähigkeit zur Vermehrung und Evolution.

Göpfrichs Enthusiasmus für ihr Forschungsgebiet ist so ansteckend, dass es nicht verwundert, dass sie auch außerhalb der Wissenschaft Menschen für ihre Forschung begeistern kann.

In Videos und Artikeln erklärt sie unterhaltsam Themen aus der Forschung. Sie tritt regelmäßig mit öffentlichen Vorträgen auf, hält Wissenschaftsvorlesungen in Schulen und hat „Ring-a-Scientist“ gegründet – eine Initiative, die Forschende mit Lehrerinnen und Lehrern vernetzt, um Wissenschaft per Videokonferenz ins Klassenzimmer zu bringen. „Der Dialog mit der Öffentlichkeit hilft mir dabei, mich auf die Fragen zu besinnen, die ich mit meiner Forschung beantworten möchte – nämlich was Leben eigentlich ausmacht, wie es entstanden sein könnte und welche anderen Lebensformen möglich sind.“

Gut verpackt in Fettmoleküle

In den letzten Jahren hat sich Göpfrichs Team mit der Zellmembran beschäftigt, also mit der Zellhülle. Leben braucht Grenzen, zumindest auf biochemischer Ebene. Erst durch sie können sich lebende Systeme von der Umwelt abgrenzen und in ihrem Inneren die Bedingungen für ihr Überleben schaffen. In der Natur besteht die Zellmembran aus einer doppelten Schicht von Fettmolekülen, sogenannten Lipiden. Wissenschaftler können solche Hüllen bereits in großer Menge herstellen. Diese sogenannten Vesikel sind wie natürliche Zellen von einer Lipiddoppelschicht umgeben und mit Wasser gefüllt.



WISSEN AUS

— BIOLOGIE & MEDIZIN



57

Wie Papier beim klassischen Origami lässt sich auch DNA in fast jede beliebige Form bringen. Das fadenförmige Molekül kann sich dabei zu Platten, Röhren, Kisten oder – wenn gewünscht – zu einem Kleeblatt falten lassen.

„Sie sind unser Basismodell einer Zelle“, sagt Göpfrich. „Jetzt wollen wir die Vesikel mit Leben füllen.“ Dafür bedient sich das Team bei Werkzeugen aus den unterschiedlichsten Disziplinen. Eines davon ist die sogenannte Mikrofluidik, also das gezielte Manövrieren kleinster Flüssigkeitsmengen auf Mikrochips von der Größe eines Fingernagels. Damit lassen sich die Vesikel nach Größe oder Inhalt sortieren, Substanzen injizieren oder zwei Bläschen miteinander verschmelzen. Die Vesikel sind stabil genug, dass die Forschenden sie mit lebensähnlichen Funktionen ausstatten können. Ganz oben auf ihrer Liste steht die Fortpflanzung. „Egal, wen man fragt, was eine lebende Zelle ausmacht, meistens kommt als Antwort: Sie muss sich teilen können.“ Tatsächlich ist die Fähigkeit zur Vermehrung auch eines der wissenschaftlichen Kriterien für Leben.

AUF DEN PUNKT GEBRACHT

Um das Wesen von Leben noch besser zu verstehen, wollen Forschende künstliche biologische Systeme entwickeln. Sie suchen dabei nach völlig neuen Wegen, die Eigenschaften von Zellen nachzubilden.

Künstliche Fettvesikel können die Membran natürlicher Zellen imitieren. Manche können sich sogar teilen und fortbewegen.

Gezielt kombinierte DNA-Moleküle falten sich in eine gewünschte Form und bilden so Strukturen, die unterschiedliche Aufgaben erfüllen können (DNA-Origami). Zu welcher Form sich mehrere DNA-Moleküle zusammenfinden, lässt sich präzise vorhersagen.

Diese Hürde hat Göpfrichs Team bereits genommen: Gezielt eingeleitet wird die Teilung der Bläschen zum Beispiel durch einen Lichtimpuls. Dieser bewirkt, dass ein Molekül in der Umgebungsflüssigkeit zerfällt und so die Teilchenkonzentration erhöht. Um das entstandene osmotische Ungleichgewicht auszugleichen, strömt Wasser aus den Vesikeln heraus. Damit die Vesikel nicht nur zusammenschrumpfen, sondern sich tatsächlich teilen, wenden die Forschenden einen Trick an: Sie statten die Vesikelhülle mit zwei verschiedenen Arten von Fettmolekülen aus. Deren Bestreben, sich zu entmischen, führt zusammen mit dem Schrumpfungsprozess zur Teilung des Vesikels in gleich große Tochterbläschen. Einen Haken gibt es allerdings: Die so entstandenen Tochtervesikel können sich nicht nach demselben Prinzip weiterteilen, denn sie bestehen ja jeweils nur noch aus einem der beiden Fettmoleküle. Die Forschenden lassen sie deshalb mit kleinen Fettbläschen verschmelzen, die den jeweils anderen Fetttyp enthalten. Auf diese Weise können sich die Tochterbläschen erneut teilen.

Zellen besitzen je nach Typ unterschiedlichste Formen. Auch mit dieser Eigenschaft hat Kerstin Göpfrich ihre Vesikel schon ausgestattet. Benötigt wird ein künstliches Zellskelett, das sich im Optimalfall auf einen Reiz aus der Umgebung hin formt. Das Team setzt dazu Bausteine mit einem pH-empfindlichen Molekül ein, das sich bei erhöhtem pH-Wert an die Lipidmembran heftet und die Membran an dieser Stelle in eine flache Form zwingt. „Das Material unseres Zellskeletts ist eigentlich nichts Besonderes, es steckt in jeder unserer Zellen: DNA“, sagt Göpfrich. Verbunden mit einem pH-empfindlichen Abschnitt und einem Molekülteil zur Bindung an die Lipidhülle kann das DNA-Molekül die Vesikel verformen, wenn sich der pH-Wert in der Umgebung ändert.

Überhaupt setzt die Forscherin große Hoffnungen auf den Einsatz von DNA – nicht nur als einem Träger der Erbinformation, sondern als ei-



FOTO: KATRIN BINNER FÜR MPG

Kerstin Göpfrich ist fasziniert von der Idee, eine lebende Zelle zu bauen. Die Physikerin will dabei nicht nur auf Vorbilder aus der Natur zurückgreifen, sondern einzelne Bestandteile komplett neu entwerfen.

nem vielseitigen biologischen Werkstoff. Die Technik wird in Anlehnung an die japanische Papierfaltkunst auch als „DNA-Origami“ bezeichnet, denn ähnlich wie Papier können sich auch DNA-Moleküle falten und beinahe jede gewünschte Form annehmen. Auf diese Weise lassen sich Tunnel, Platten, Kisten oder Verbindungsstücke zwischen Komponenten konstruieren, die lediglich millionstel Millimeter groß sind. Die DNA-Nanotechnologie ist neben der Mikrofluidik und dem 3D-Druck eine der Schlüsseltechnologien für Göpfrichs Team. Sie eröffnen den Forschenden eine Vielzahl an Möglichkeiten, Komponenten für Zellen zu konstruieren und diese zu einer Einheit zusammenzufügen. Eine Komponente hat Göpfrich bereits in ihrer Doktorarbeit entworfen und untersucht: künstliche Membranporen aus DNA, die den Austausch von Signalstoffen ermöglichen.

Paarbindung im DNA-Molekül

Auf welchen Prinzipien die DNA-Faltung beruht, ist lange bekannt: „Das Geheimnis sind chemische Wechselwirkungen zwischen den vier verschiedenen Bausteinen der DNA-Moleküle, also den Basen Thymin, Adenin, Cytosin und Guanin. Mehrere DNA-Moleküle finden sich so zusammen, dass sich möglichst viele Basenpaare ausbilden können. Ein langer Strang DNA wird so durch viele kurze DNA-Schnipsel in Form gebracht, bis das gesamte DNA-Origami einen energetisch günstigen Zustand erreicht“, erklärt die Wissenschaftlerin. Mit Computerprogrammen kann sie die DNA-Sequenz berechnen, die für eine bestimmte Form erforderlich ist. Neben Spielereien wie Smileys, Sternen oder anderen geometrischen Formen lassen sich so auch Bauteile für eine künstliche Zelle herstellen.

Entsprechend ausgestattet könnte eine künstliche Zelle eines Tages unterschiedliche Aufgaben erfüllen, zum Beispiel als miniaturisierter Helfer im

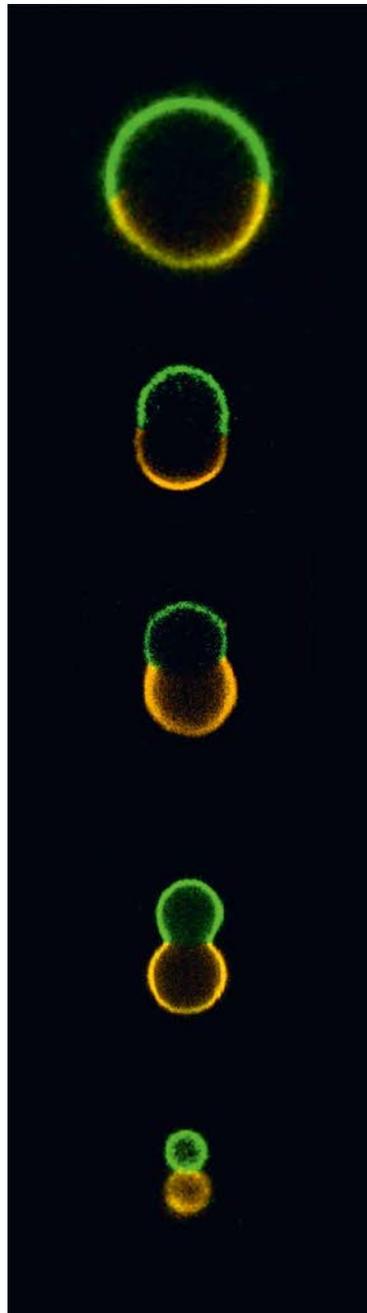


BILD: YANNIK DREHER/MPPI FÜR MEDIZINISCHE FORSCHUNG

Wenn sich die Fettmoleküle (gelb, grün) eines Vesikels entmischen und dieses parallel dazu schrumpft, beginnt das Bläschen sich zu teilen – ein Modell für künstliche Zellteilung?

menschlichen Körper. „Noch sind wir weit davon entfernt, lebende Systeme von Grund auf neu zu erschaffen“, sagt Göpfrich. Doch schon jetzt machen die Forschenden Entdeckungen, die für andere Forschungsgebiete und die Medizin nützlich sind. Göpfrichs teilungsfähige Vesikel zum

Beispiel lassen sich als Sensor für die Konzentration von Teilchen einsetzen, die sich sonst nur sehr schwierig bestimmen lässt. Einige ihrer Erkenntnisse hat Göpfrich deshalb patentieren lassen.

Der nächste große Schritt ist die Entwicklung eines Systems zur Informationskodierung. „In natürlichen Zellen steckt die Erbinformation in der DNA des Zellkerns. Wir sind gerade dabei, nach künstlichen Systemen zu suchen, die Informationen kodieren können. Sie müssten Daten dauerhaft speichern und sich in den Zellen vervielfältigen lassen. Wenn dann noch sowohl originalgetreue Kopien als auch gelegentliche Abweichungen entstehen, hätten wir sogar eine der Voraussetzungen für Evolution geschaffen“, erklärt Göpfrich. Die künstlichen Zellen könnten sich auf diese Weise selbstständig weiterentwickeln. Die Forschenden müssten diese Evolution dann nur noch in die gewünschte Richtung lenken.

Begriffe wie „künstliches Leben“ und „künstliche Organismen“ werden oft missverständlich gebraucht und rufen Ängste hervor. „Bei der Synthetischen Biologie geht es aber nicht darum, wie Frankenstein irgendwelche Monster zu erschaffen, sondern uns interessieren in erster Linie Zellen. So könnten künstliche Zellen eines Tages darauf programmiert werden, medizinische Aufgaben zu erfüllen“, erklärt die Forscherin.

Zum jetzigen Zeitpunkt steht die Wissenschaft beim Bau einer Zelle ganz am Anfang: Künstliche Zellen weisen heute höchstens einige wenige Merkmale von Leben auf, und selbst das nur unter Laborbedingungen. „Noch berühren wir damit kaum ethisch sensible Fragen, denn im Moment sind künstliche Zellen nicht viel mehr als Molekülaggregate – Konstrukte aus toter Materie wie in anderen Bereichen der Materialwissenschaften und der Nanotechnologie. Dennoch ist es wichtig, die ethische Dimension unserer Vision jetzt schon zu berücksichtigen“, sagt Kerstin Göpfrich.

www.ring-a-scientist.org



VORSICHT, GIFTIGES GRÜN!

TEXT: CLAUDIA DOYLE

Pflanzen sind für uns Menschen Nahrungsmittel, Baumaterial und Medizinschrank gleichzeitig. Doch nicht alles, was grünt, ist gut. Einige Pflanzen verfügen über Gifte, die uns krank machen oder gar töten können. Daher ist aus evolutionärer Sicht eine Scheu vor Pflanzen gerade im Baby- und Kleinkindalter sinnvoll. Annie Wertz vom Max-Planck-Institut für Bildungsforschung in Berlin untersucht, welche Verhaltensweisen Kinder vor gefährlichen Pflanzen schützen und wie sie von Erwachsenen lernen, was aus der Natur gut und essbar ist.

Während Annie Wertz durch die kalifornischen Berge joggt, kommt ihr ein unangenehmer Gedanke: Wenn sie sich jetzt verletzen oder verlaufen würde, dann wäre das ihr Ende. Sie würde verhungern. Dabei ist die Doktorandin der University of California, Santa Barbara, umgeben von Bäumen, Farnen und Gräsern. Nahrung in Hülle und Fülle. Doch sie hat keine Ahnung, welche der Pflanzen essbar sind und welche giftig. Sie hat es nie gelernt. Diese Erkenntnis brachte sie auf eine Idee. In westlichen Kulturkreisen kommt das Essen heutzutage meistens aus dem Supermarkt. Nur die wenigsten bauen ihre Nahrungsmittel noch selbst an oder sammeln gar Wildpflanzen in der freien Natur.

Doch gerade die Wildpflanzensuche sicherte nahezu während der gesamten Menschheitsgeschichte neben der Jagd die Versorgung mit Nahrung. Unsere Vorfahren besaßen einst ein großes Wissen darüber, welche Pflanzen essbar sind und wie man sie am besten zubereitet. Diesen Erfahrungsschatz gaben sie an ihre Nachkommen weiter. „Es wäre fatal, wenn jeder Einzelne neu herausfinden müsste, welche Pflanze sich als Nahrungsmittel eignet und welche nicht“, sagt Annie Wertz. Die Psychologin hat Kalifornien mittlerweile den Rücken gekehrt und leitet seit Januar 2015 am Max-Planck-Institut für Bildungsforschung in Berlin die Max-Planck-Forschungsgruppe „Naturalistische soziale Kognition“. Dort erforscht sie die evolutionär entwickelten Strategien, die es Säuglingen und Kleinkindern ermöglichen, ohne Gefahr Wissen über Pflanzen zu erwerben.

Wenn Annie Wertz auf Konferenzen von ihrem Projekt erzählt, erntet sie oft skeptische Blicke. Dabei ist ihre Forschungsfrage keineswegs ein Nischenthema. „Was aus meiner Umwelt ist essbar, was kann mich umbringen und wie kann ich das eine vom anderen unterscheiden? – das sind doch ganz zentrale Fragen für das menschliche Leben und die menschliche Evolution“, sagt Wertz. Menschen sind von Natur aus neugierig,

sie haben einen unstillbaren Entdeckerdrang und erforschen gerade in den ersten Lebensmonaten viele Objekte mit dem Mund. Die Zunge verfügt gerade in diesem Alter über besonders viele Nervenzellen. In Bezug auf das Erkunden von Pflanzen könnte diese Strategie allein jedoch fatal sein, schließlich sind nicht wenige Pflanzen für Menschen ungenießbar bis tödlich. „Der Mensch lebt schon immer mit Pflanzen zusammen, also sollten im Lauf der Evolution auch bestimmte Strategien entstanden sein, die eine sichere Koexistenz fördern“, sagt Wertz.

Ob eine Pflanze das Potenzial zur Leibespeise oder zur Henkersmahlzeit hat, lässt sich nicht an den morphologischen Eigenschaften allein erkennen. Weiße Blüten? Das könnte auf einen harmlosen Apfelbaum hindeuten oder auf das giftige Buschwindröschen. Blaue Früchte? Das trifft sowohl auf leckere Heidelbeeren als auch auf den giftigen Kreuzdorn zu. Selbst mechanische Abwehrmechanismen wie Dornen finden sich bei essbaren wie giftigen Pflanzen. Damit sich Babys und Kleinkinder also nicht aus Versehen eine giftige Pflanze in den Mund stecken, sollten sie daher idealerweise von Geburt an allen Pflanzen gegenüber zurückhaltend sein. Mit dieser These startete Wertz 2009 ihre Stelle als Postdoktorandin bei Karen Wynn an der Yale University. Um sie zu



FOTO: IMAGO IMAGES/DANITA DELIMONT



61

Vom Baum in den Mund:
Kinder lernen schon
in jungen Jahren, zwischen
essbaren und giftigen
Gewächsen zu unter-
scheiden – wie dieses
Mädchen im ecuadoria-
nischen Regenwald.



FOTOS: MPI FÜR BILDUNGSFORSCHUNG



62

Trockenobst vom Baum: In diesem Experiment hat das Kind zuvor beobachtet, wie ein Erwachsener gelbe Trockenfrüchte von einer echten Pflanze und dunkle Früchte von einer silbrigen Pseudopflanze pflückte und in den Mund steckte. Im Anschluss greift es – wie die meisten Kinder im Test – zu der Frucht, die von der echten Pflanze stammt.

überprüfen, lud die Wissenschaftlerin Eltern mit ihren Babys zu sich ins Labor ein. Die Kinder im Alter von acht bis achtzehn Monaten saßen bei den Müttern oder Vätern auf dem Schoß und wurden nacheinander mit verschiedenen Objekten konfrontiert.

Das waren echte grüne Topfpflanzen, etwa Petersilie oder Basilikum, und künstliche Pflanzen. Außerdem neuartige, von Menschen geschaffene Artefakte, die auf die Merkmale der Pflanzen abgestimmt waren. „Wir haben diese Gegenstände entworfen, um ausschließen zu können, dass die Kinder einfach alle grünen Objekte oder Objekte mit der Form von Pflanzen meiden“, erklärt Wertz. Als Letztes kamen noch Naturmaterialien wie Muscheln oder Alltagsgegenstände wie Löffel zum Einsatz. Im Allgemeinen wollten die Kinder alles berühren, doch es zeigten sich große Unterschiede in der Geschwindigkeit, mit der die kleinen Hände nach vorne griffen. Nur drei bis fünf Sekunden zögerten die Kinder bei den Naturmaterialien, den Alltagsgegenständen und den Objekten, die den Pflanzen nachempfunden waren. Bei den echten und künstlichen Pflanzen hingegen dauerte es etwa doppelt so lang, bis die Kinder ihre Hände danach ausstreckten.

Fünf Sekunden mehr zum Eingreifen

„Mit dieser Studie konnten wir erstmals zeigen, dass Kinder zögern, Pflanzen zu berühren“, sagt Wertz. Dies könnte eine Strategie der Evolution sein, Kleinkinder vor giftigen Pflanzen zu schützen. Zwar scheinen fünf weitere Sekunden Verzögerung auf den ersten Blick nicht lang zu sein. Doch dieses kleine Zeitfenster könnte durchaus reichen, damit die Eltern die Chance erhalten, schützend einzugreifen und die Kinder vor dem Kontakt mit der Pflanze zu bewahren. Der Effekt war unabhängig vom Alter der Kinder. „Das hat mich überrascht“, sagt Wertz, „ich hatte erwartet, dass es mit zunehmender Mobilität der Kinder größere Unterschiede

geben könnte.“ In einem zweiten Experiment fand Wertz heraus: Bei der Entscheidung, was als Nahrungsquelle dienen kann, unterscheiden Kleinkinder zwischen Pflanzen und künstlichen Objekten. Die Kinder im Alter von achtzehn Monaten schauten zu, wie eine erwachsene Person an einer Topfpflanze befestigte Trockenfrüchte abpflückte und sich in den Mund steckte. Das gleiche Prozedere wurde mit Trockenfrüchten wiederholt, die an einer silbrig glänzenden Kunstpflanze steckten. Anschließend pflückten die Erwachsenen sowohl von einer echten Pflanze als auch vom silbrigen Kunstobjekt die restlichen Trockenfrüchte ab und setzten sie den Kindern vor – und die meisten griffen zu den Früchten, die von der echten Pflanze stammten.

Diese ersten beiden Experimente haben den Grundstein für Wertz' Forschungsarbeit gelegt, die sie jetzt in ihrer eigenen Forschungsgruppe vertieft. Sie konnte bereits zeigen, dass Kleinkinder die Informationen über die Essbarkeit von Pflanzen in gewissem Maße abstrahieren können. Wenn sie beispielsweise beobachten, dass ein Erwachsener einen Apfel von einem Apfelbaum isst, dann lernen sie, dass sie auch die Äpfel anderer Apfelbäume essen können. Diese Art der Generalisierung macht das Lernen über Nahrungsmittel wesentlich effizienter. Doch es stellt eine gewaltige Leistung dar, unter verschiedenen Bäumen einen Apfelbaum zu erkennen. Als Nächstes will die Psychologin daher die Eigenschaften identifizieren, anhand derer Kinder ein Objekt als Pflanze kategorisieren und verschiedene Pflanzenarten unterscheiden. Dabei scheint es nicht auf ein Merkmal allein anzukommen, sondern auf die Summe vieler Einzelheiten. Das lässt sich am Beispiel der Farbe verdeutlichen: Während Kinder grüne Pflanzen meiden, berühren sie bereitwillig grüne Gegenstände. Da essbare Pflanzen sich in Aussehen, Größe, Geruch, Form und Textur stark unterscheiden, ist der Lernprozess zudem komplex. Während Kinder, wenn sie den Gebrauch von Werkzeugen lernen, eher auf die Form achten, scheinen sie beim Lernen über die Essbarkeit von Lebens-

mitteln weder bestimmte Formen noch bestimmte Farben zu bevorzugen. Das ist nur folgerichtig, wenn man bedenkt, wie groß die Unterschiede etwa zwischen Heidelbeere, Kiwi und Orange sind – obwohl alle essbar sind.

Misstrauen gegenüber Gemüse

Aller Neugierde zum Trotz kommen zahlreiche Kinder früher oder später an einen Punkt, an dem pflanzliche Nahrung sie geradezu abschreckt. Bei vielen Familien sitzen Kleinkinder am Esstisch, die Brokkoliröschen angewidert vom Teller schieben oder lustlos in den Möhren herumstochern. Nahrungsmittelneophobie wird solch eine starke Abneigung neuen Lebensmitteln gegenüber genannt, die besonders oft pflanzliche Lebensmittel betrifft. Zusammen mit der Postdoktorandin Camille Rioux wollte Annie Wertz testen, ob der Grundstein für diese Abneigung schon im Säuglingsalter nachweisbar ist.

63

Dafür wurden Kinder im Alter zwischen sieben und fünfzehn Monaten mit pflanzlichen Nahrungsmitteln in unterschiedlichen Verarbeitungsstadien konfrontiert: ganze Früchte an der Pflanze, gepflückte Früchte, in Streifen oder Scheiben geschnittene Früchte sowie stark verarbeitete pflanzliche Lebensmittel wie Reiswaffeln. Zudem kamen Kontrollobjekte zum Einsatz, zum Beispiel ein Schwamm in der Form einer Frucht. Erneut zeigte sich, dass die Kinder – im Vergleich zu den stark verarbeiteten Nahrungsmitteln und den Kontrollobjekten – länger zögerten, bevor sie Pflanzen sowie die gepflückten und geschnittenen pflanzlichen Nahrungsmittel berührten. Sie suchten zudem mehr Augenkontakt zu ihren Bezugspersonen, um möglicherweise etwas über die richtige Verhaltensweise im Umgang mit den pflanzlichen Lebensmitteln zu erfahren. Ein Jahr nach dem Experiment füllten die Bezugspersonen einen Fragebogen aus, in dem sie Angaben zu Nahrungsmittelneophobien ihrer Kinder machten. Es zeigte sich, dass die Kin-



Auf Kinder eingerichtet: die Psychologin Annie Wertz im sogenannten BabyLab.

der, die am längsten gezögert hatten, geschnittene pflanzliche Nahrungsmittel zu berühren, ein Jahr später eine ausgeprägtere Abneigung gegenüber diesen Lebensmitteln hatten. Eltern mit solch mäkeligen Kleinkindern können also aufatmen: Es ist nicht alles Erziehung, einige Kinder scheinen von Anfang an vorsichtiger zu sein.

Von klein auf in Kontakt mit Pflanzen

Aber gelten all diese Ergebnisse auch für Kinder auf der ganzen Welt? Um das herauszufinden, braucht man kulturübergreifende Studien. Denn anders als in den USA oder in Deutschland wachsen viele Kinder in manchen Gesellschaften noch in enger Verbindung mit der Natur und häufigen Interaktionen mit Pflanzen auf. Mithilfe einer Anthropologin der Victoria University of Wellington hat Annie Wertz die Volksgruppe der iTaukei in den Blick genommen, Ureinwohner der Fidschi-Inseln. Diese Familien leben mit und von der Natur, die meisten bauen zudem ihr eigenes Essen im Garten an. Auch in dieser Kultur zeigte sich, dass die Babys und Kleinkinder Zurückhaltung gegenüber Pflanzen an den Tag legen. Mit einem großen Unterschied: Während die Kinder aus westlichen Gesellschaften typischerweise alle Pflanzen meiden, zeigten die iTaukei-Kinder dieses Verhalten nur bei Pflanzen, die sie nicht kannten. „Vermutlich haben diese Kinder einfach schon sehr oft Erwachsene im Umgang mit bestimmten Pflanzen beobachtet und wissen dadurch, dass von diesen Pflanzen keine Gefahr ausgeht“, fasst Wertz zusammen. Kindern aus westlichen Gesellschaften fehle diese Art von Erfahrung häufig.

In einem zweiten kulturübergreifenden Projekt widmet sich Annie Wertz in Zusammenarbeit mit Anthropologen von der University of California, Los



FOTO: GESINE BORN FÜR MPG

Angeles, Kindern aus dem indigenen Volk der Shuar in Ecuador. Auch hier möchte sie herausfinden, wie der kulturelle Kontext das Verhalten von Kindern gegenüber Pflanzen beeinflusst. Die bisherigen Ergebnisse legen den Schluss nahe, dass das kindliche Vermeidungsverhalten gegenüber Pflanzen tief in unserem Gehirn verankert ist. Könnte es sein, dass sogar mit dem Menschen verwandte Primatenarten ein ähnliches Verhalten zeigen? Schließlich stehen auch sie vor den gleichen Herausforderungen, wenn es darum geht zu bestimmen, welche Pflanzen Nahrung und welche tödlich sind. Diese Frage untersucht Annie Wertz zurzeit gemeinsam mit ihrer Postdoktorandin Linda Oña an fünf nichtmenschlichen Primatenarten. Doch bereits jetzt zeigt ihr neuartiges und immer noch wachsendes Forschungsprogramm, dass sich Lernmechanismen in evolutionären Prozessen entwickelt haben.

AUF DEN PUNKT GEBRACHT

Babys und Kleinkinder greifen wesentlich langsamer nach Pflanzen als nach anderen Gegenständen.

Indem sie Erwachsene beobachten, lernen sie, dass bestimmte Pflanzen oder deren Früchte essbar sind.

In manchen Kulturen, die in engem Kontakt mit der Natur leben, meiden Babys und Kleinkinder nur die Pflanzen, die sie nicht kennen.

In Experimenten zeigt sich, dass Kleinkinder, die Gemüse und Obst verweigern, schon im Babyalter besonders zurückhaltend gegenüber geschnittenen Früchten waren.



„Dem Anwenden muss das Erkennen vorausgehen.“ Max Planck

Eine Idee, 86 Institute

Die Max-Planck-Gesellschaft
betreibt Grundlagenforschung in
den Natur-, Lebens- und Geistes-
wissenschaften an 86 Instituten.

GEISTES-, SOZIAL- UND HUMANWISSENSCHAFTEN

Humanwissenschaften / Kulturwissenschaften / Rechtswissenschaften / Sozialwissenschaften /
Verhaltenswissenschaften / Wirtschaftswissenschaften / ...

BIOLOGIE UND MEDIZIN

Entwicklungsbiologie / Evolutionsbiologie / Immunbiologie / Infektionsbiologie / Medizin / Mikrobiologie /
Neurobiologie / Ökologie / Pflanzenforschung / Psychiatrie / Strukturbioogie / Verhaltensbiologie / Zellbiologie / ...

CHEMIE, PHYSIK, TECHNIK

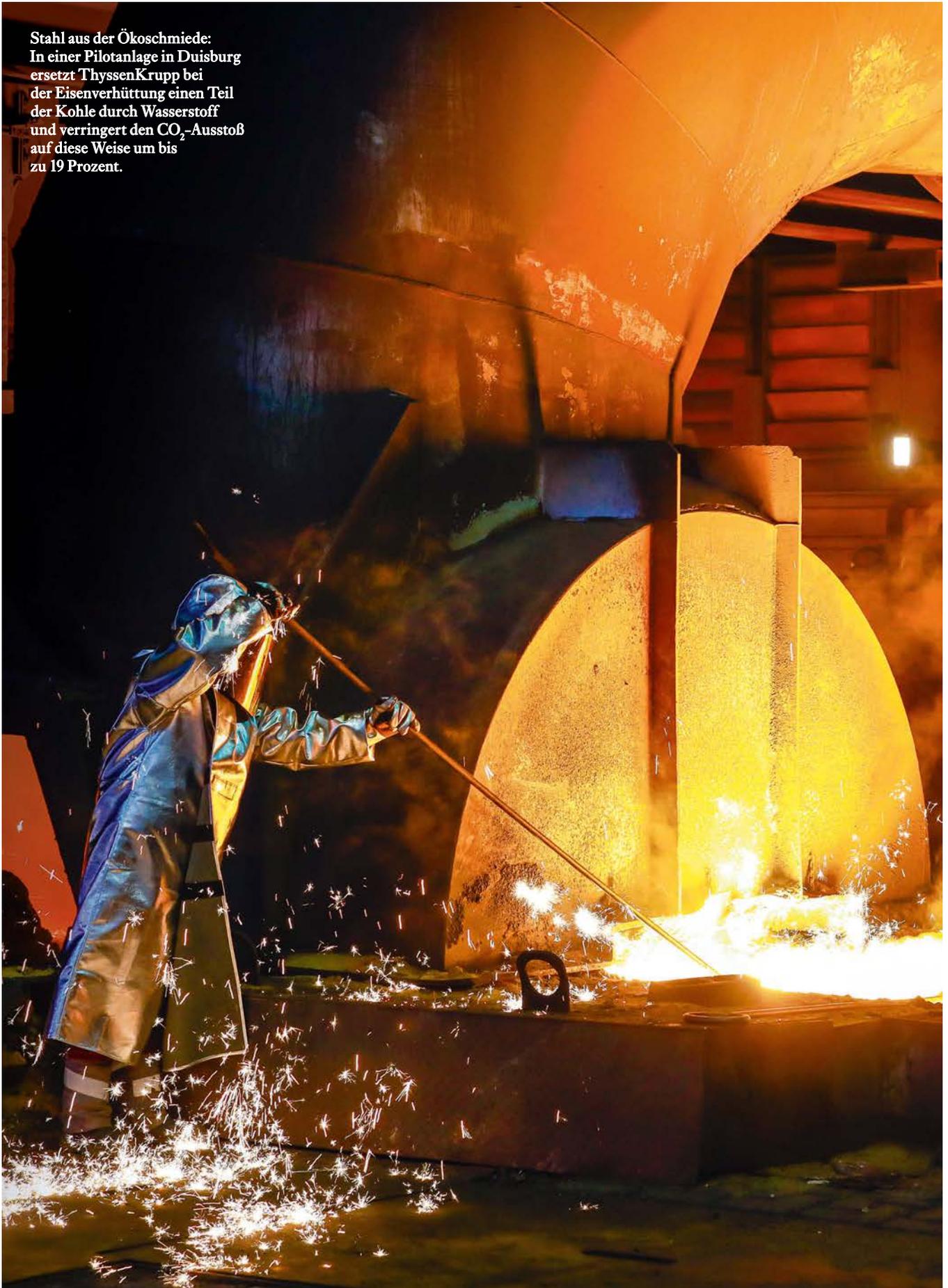
Astronomie / Astrophysik / Chemie / Festkörperforschung / Informatik / Klimaforschung / Komplexe Systeme /
Materialwissenschaften / Mathematik / Nanowissenschaften / Plasmaphysik / Quantenphysik / Teilchenphysik / ...

www.mpg.de/institute

MAX PLANCK
GESELLSCHAFT



Stahl aus der Ökoschmiede:
In einer Pilotanlage in Duisburg
ersetzt ThyssenKrupp bei
der Eisenverhüttung einen Teil
der Kohle durch Wasserstoff
und verringert den CO₂-Ausstoß
auf diese Weise um bis
zu 19 Prozent.



ENERGIEWENDE IM HOCHOFEN

TEXT: TIM SCHRÖDER

Metalle sind aus unserem Leben nicht wegzudenken. Doch die Metallindustrie verursacht heute ein Drittel aller industriellen Treibhausgas-Emissionen. Dierk Raabe und Martin Palm, Wissenschaftler am Max-Planck-Institut für Eisenforschung in Düsseldorf, arbeiten daher daran, Metalle nachhaltiger herzustellen und einzusetzen. Ihre Konzepte könnten die Metallindustrie gehörig umkrempeln.

Um Metall zu gewinnen und zu schmieden, braucht man Hitze. Das weiß wohl jedes Kind. Und im Grunde hat sich die Herstellung von Eisen in Tausenden von Jahren nicht wesentlich verändert: Man erhitzt Erz mit Holzkohle oder Koks, fange die flüssige Schmelze auf, lasse sie erstarren und forme sie nach Belieben. Nach diesem Prinzip haben schon die Hethiter vor 3500 Jahren in Kleinasien Metall für ihre Schwerter gewonnen. Damals allerdings brannten nur hier und da ein paar Holzkohlemeiler. Heute aber ist die Herstellung

von Stahl, Aluminium und vielen anderen Metallen ein Riesengeschäft – und ein Problem, wenn es um den Klimawandel geht. Rund ein Drittel aller industriellen Kohlendioxidemissionen stammen aus der Metallproduktion. Auch schlägt diese weltweit mit fast einem Zehntel beim Energieverbrauch zu Buche.

Gegen den Klimawandel können wir manches mit unserem Verhalten ausrichten: weniger fliegen, mit Bus und Bahn statt mit dem Auto fahren oder den Fleischkonsum einschränken. Doch wie soll es gelingen, die Metallherstellung klimafreundlicher zu machen? Metall wird aus der Hitze geboren. Daran wird sich kaum etwas ändern. Und auf Metall zu verzichten, dürfte schwerfallen: Häuser, Brücken und Industrieanlagen brauchen Stahl als Baumaterial, und auch Autos, Schiffe und Flugzeuge, die vor allem aus Metall konstruiert sind, wird man kaum abschaffen können und wollen, aber selbst Fahrräder bestehen aus Stahl oder Aluminium. Deshalb muss

die Metallwirtschaft ihren CO₂-Ausstoß reduzieren. „Das Interesse an einer klimaverträglichen Produktion nimmt zu“, sagt Dierk Raabe. „Man will künftig mit entsprechenden Produkten werben, um sich von Konkurrenten abzusetzen.“ Dierk Raabe ist Werkstoffwissenschaftler und Direktor am Düsseldorfer Max-Planck-Institut für Eisenforschung. Er gehört zu einer wachsenden Gruppe von Experten weltweit, die an einer nachhaltigeren Metallherstellung arbeiten. Dafür wird sich die Industrie zum Teil von jahrtausendealten Prinzipien verabschieden müssen.

Stahl besteht zu einem großen Teil aus Eisen. Und das wird in Hochöfen von Leuchtturmgröße aus Eisenerz gewonnen. Eisenerz ist im Grunde nichts anderes als reiner Rost – also Eisenoxid (Fe₂O₃). Um daraus Eisen herzustellen, muss man dem Eisenoxid den Sauerstoff austreiben. Das geschieht auch heute noch, indem man das Erz mit Koks erhitzt. Letztlich verbindet sich der Sauerstoff aus



dem Erz – über mehrere Zwischenschritte – mit dem Kohlenstoff der Kohle; Eisen bleibt zurück – und CO_2 entweicht. „Wenn es gelingt, hier neue, nachhaltige Methoden zu etablieren, ist das ein sehr großer Hebel, um den weltweiten Ausstoß an Treibhausgasen zu verringern“, sagt Dierk Raabe.

Die Wissenschaft diskutiert derzeit verschiedene Wege in die grüne Stahlproduktion. So ließe sich Stahl ebenso wie etwa Aluminium durch Elektrolyse erzeugen. Mit Strom aus regenerativen Quellen wäre das eine

saubere Sache. Die Verfahren sind aber noch längst nicht ausgereift, und mit ihnen werden sich vermutlich auch kaum die gigantischen Mengen an Stahl, die weltweit jährlich verarbeitet werden, produzieren lassen. Zumindest vorerst sieht Raabe daher größeres Potenzial darin, einen Teil der Kohle durch Biogas, Methan und vor allem Wasserstoff zu ersetzen, die dem Eisenerz (Fe_2O_3) ebenfalls den Sauerstoff entziehen können. Aus Sicht des Klimaschutzes am günstigsten wäre Wasserstoff, wenn er denn mit regenerativ erzeugtem Strom hergestellt wird. Über meh-

rere Zwischenstufen entstände dann als Abgas Wasserdampf statt des Kohlendioxids. Um im industriellen Maßstab reines Eisen mit Wasserstoff zu erzeugen, muss Dierk Raabe mit seinem Team noch einige offene Fragen klären – etwa, wie der Wasserstoff so tief in das Erz eindringen kann, dass das Eisenoxid vollständig und schnell reagiert. Denn dabei gibt es ein Hindernis. Bei der Reaktion vom Eisenoxid (Fe_2O_3) zum reinen Eisen entsteht als Zwischenprodukt Wüstit (FeO), das nur noch ein Sauerstoffatom pro Eisenatom besitzt. Das Problem: Wüstit umgibt sich gerne mit



einer Schale aus reinem, neu gebildetem Eisen, das während der Reaktion mit Wasserstoff entsteht. Diesen Eisenpanzer durchdringen der Wasserstoff und auch der freigesetzte Sauerstoff nur sehr langsam. Die Eisengewinnung kann sich dadurch enorm verlangsamen. „Wir versuchen daher, die Wüstit-Körnchen aufzubrechen, damit sie vollständig mit Wasserstoff reagieren“, sagt Dierk Raabe. Seine Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter lassen die Reaktion von Erz und Wasserstoff bei verschiedenen Drücken und Temperaturen ablaufen, um so die idealen Bedingungen zu finden,

bei denen Wüstit sich in eine Art durchlässigen Nanoschwamm verwandelt. „Derzeit lese ich dazu auch einige um die 80 Jahre alte Fachartikel von Fritz Wüst, dem Gründer unseres Instituts“, erzählt Dierk Raabe. „Er hat sich intensiv mit Wüstit beschäftigt, weshalb die Verbindung auch nach ihm benannt wurde. Seine Arbeiten geben uns heute wichtige Hinweise.“

Und es gibt weitere Herausforderungen bei der Reaktion von Eisenoxid mit Wasserstoff. Gasförmiger Wasserstoff liegt als Molekül vor, als H_2 . Reaktiv aber ist er nur als Ion, als H^+ . Er muss daher zunächst aufgespalten werden – und auch das soll schnell und ohne großen zusätzlichen Energieaufwand geschehen. „Eisenerz enthält stets einen geringen Teil an Fremdatomen, die wie das Eisen als Oxide vorliegen, als Verunreinigungsoxide“, erläutert Dierk Raabe. „Wir wollen herausfinden, ob einige dieser Verunreinigungen als Katalysatoren dienen könnten, welche die Spaltung des H_2 beschleunigen.“ Dann würde das Erz selbst reaktive H^+ -Ionen erzeugen. „Auf einmal müssen wir uns also auch mit dem Thema Katalyse befassen, das bei uns sonst eher nicht im Fokus steht“, sagt Raabe

rin geschmolzen. „Alles in allem wird uns der Wasserstoff in den nächsten zehn bis fünfzehn Jahren stark beschäftigen“, sagt Raabe. „Mit dem Anlagenpark hier am Institut können wir die Eisenproduktion mit Wasserstoff dabei perfekt steuern und bis hinunter zum atomaren Maßstab beobachten.“ Zum Anlagenpark gehören Atomsonden, die eine Materialzusammensetzung Atom für Atom bestimmen können, und Transmissions-Elektronenmikroskope, mit denen die Forschenden sogar bis auf die elektronische Ebene ins Erz hineinschauen können – und auch Geräte, mit denen gewöhnlich die quantenmechanischen Eigenschaften von Metallen und Halbleitern untersucht werden.

Allerdings gibt es den Umstieg auf Wasserstoff und grünen Stahl nicht umsonst, sagt Christian Vietmeyer, der Hauptgeschäftsführer des Wirtschaftsverbands Stahl- und Metallverarbeitung. Dem Verband gehören jene Unternehmen an, die Rohmetalle weiterverarbeiten – beispielsweise Stahl zu Autoteilen. „Unsere starke Vermutung ist, dass die Autoindustrie als Erste klare Forderungen nach Stahl mit deutlich besserer CO_2 -Bilanz stellen wird. Doch dieser Stahl wird zunächst teurer sein.“ Die Stahlhersteller forderten bereits, der Staat müsse den grünen Wandel subventionieren, damit die deutsche Stahlproduktion künftig konkurrenzfähig gegenüber konventionell erzeugtem, billigerem Stahl aus dem Ausland bleibe. „Das sehen wir sehr kritisch, weil das zu dauerhaften Subventionstatbeständen führen würde.“ Und so sei bislang noch offen, wie die Transformation zu einer grünen Stahlerzeugung finanziert werden könne. „Unserer Ansicht nach muss das ordnungspolitisch vom anderen Ende her gedacht werden – über die Nachfrage beim Kunden.“ Möglich sei das etwa mit einer reformierten Kfz-Steuer. Heute werden Autos nach dem CO_2 -Ausstoß besteuert – zukünftig könne man, sagt Vietmeyer, den ganzen Lebenszyklus betrachten – und dabei auch berücksichtigen, wie viele Treibhausgase ein Fahrzeug bei

69

Industrie vor dem Umbruch: Stahlproduktion wie etwa im Stahl- und Hüttenwerk Tata Steel im niederländischen IJmuiden ist für Industriegesellschaften unverzichtbar. Doch um die Klimaziele zu erreichen, muss sie dafür künftig vermehrt Energie aus regenerativen Quellen nutzen.



Wer zahlt den Wandel?

Dabei ist Wasserstoff, der erst noch in die reaktive Form gebracht werden muss, langfristig vielleicht gar nicht die nachhaltigste Lösung, um Eisen zu erzeugen. Jedenfalls wäre der Einsatz von Wasserstoffplasma insgesamt effizienter. Diese reaktivste Form des Wasserstoffs, in der die Atome etwa in Lichtbogenblitzen in H^+ -Ionen und Elektronen getrennt werden, reagiert viel intensiver mit Eisenoxid. „Wir arbeiten hier an einer ganz neuen Alternative zum herkömmlichen Prozess“, sagt Raabe. Dabei wird Eisenoxid in einem Plasma-Aggregat in Eisen umgewandelt, und gleichzeitig wird das Material da-



seiner Produktion und der Stahlherstellung verursacht hat. Auch Dierk Raabe ist sich im Klaren, dass es mit der Entwicklung klimafreundlicherer Verfahren zur Eisen- und Stahlproduktion nicht getan ist: „Es braucht hier eine durchgehende Kette von der Grundlagenforschung bis hin zu einem guten betrieblichen Verständnis.“ Für den Umstieg auf eine CO₂-ärmere oder gar CO₂-neutrale Produktion von Eisen und Stahl müssen Unternehmen große Summen investieren. „Zu schnelle, möglicherweise falsche Entscheidungen können für sie existenzbedrohend sein“, sagt der Wissenschaftler.

Die Aufgabe ist jedenfalls riesig, denn weltweit wird in jedem Jahr die beinahe unvorstellbar große Menge von 1,8 Milliarden Tonnen Stahl verarbeitet – was knapp dem doppelten Gewicht aller Autos entspricht, die derzeit in Verkehr sind. Stahl nachhaltiger zu erzeugen, wäre also tatsächlich ein großer Hebel beim Klimaschutz. Doch es gebe noch mehr, sagt Raabe. Ein Riesenthema sei die Langlebigkeit. „Man schätzt, dass etwa 3,5 Prozent des weltweiten Bruttoinlandsproduktes allein durch Korrosion verloren gehen – das sind enorme Verluste, die sich vermeiden ließen, wenn Metalle, Bauwerke und Produkte langlebiger wären.“ Wie sinnvoll ein solcher Korrosionsschutz ist, zeige die Vollverzinkung von Autokarosserien. Sie führte dazu, dass Autos mittlerweile – anders als noch vor 30 Jahren – nicht mehr durchrosten. Zum Korrosionsschutz gehöre aber mehr als die Oberflächenversiegelung von Metallen, sagt Dierk Raabe. Viele Brücken zum Beispiel würden heute nach wenigen Jahrzehnten abgerissen, weil man nicht weiss, wie stark die Korrosion im Inneren schon fortgeschritten ist. „Es gibt weder Sensoren noch pH-Wert- oder Spannungsmessgeräte, die über den Zustand Auskunft geben – das ist Steinzeit.“ Für Raabe sind solche Instrumente heute ein Muss.

Neben dieser Messtechnik seien auch Metalle eine Lösung, die sich selbst heilen. Bei Kunststoffen gibt es das bereits. So werden in Bauteile zum

Beispiel Kapseln eingeschmolzen, die flüssige Kunststoffzutaten enthalten, um bei Bedarf Risse zu kitten. „Solche Kunststoffe merken selbst, wenn ein Schaden auftritt. Aluminium oder Eisen sind noch nicht so weit – hier ist noch viel zu tun“, sagt Dierk Raabe. Immerhin: Erste Konzepte gibt es bereits. Beispielsweise ist vorstellbar,

AUF DEN PUNKT GEBRACHT

Rund ein Drittel der industriellen CO₂-Emissionen weltweit stammen aus der Metallproduktion. Bei der Stahlherstellung könnte der Ausstoß sinken, wenn zumindest ein Teil der dabei benötigten Kohle durch Methan, durch Biogas und vor allem durch Wasserstoff ersetzt würde.

Um Stahl im industriellen Maßstab mit Wasserstoff erzeugen zu können, versuchen Max-Planck-Forschende, die chemische Reaktion zu beschleunigen. Sie untersuchen auch die Möglichkeit, Stahl in einem völlig neuen Prozess mit Wasserstoffplasma zu produzieren.

Ein verbesserter Korrosionsschutz und eine höhere Recyclingquote könnten den CO₂- und Energie-Fußabdruck von Metallprodukten ebenfalls verkleinern.

Da Eisenaluminide korrosionsbeständig, leicht und gut recycelbar sind, stellen sie eine nachhaltige Alternative zu Stählen dar. Max-Planck-Forscher haben es durch Zusatz von Bor geschafft, die Legierung auch für den Einsatz bei hohen Temperaturen, beispielsweise in Turbinen, zu optimieren.

dass bei einer Schädigung Sauerstoff in das Material eindringt, wodurch sich feste Metalloxide bilden können, die kleine Schäden beheben. Auch können sich Poren in manchen Legierungen bei hohen Temperaturen durch atomare Transportprozesse selbst verschließen. So wurde Stahl in

einer Arbeit, an der auch die Düsseldorfer beteiligt waren, in kleinen Mengen Molybdän beigemischt, das feine Poren wieder verschließen kann. Um in der Metallwirtschaft Treibhausgase einzusparen, ist es also ebenfalls ein sinnvoller Weg, Produkte zu erhalten statt neu zu bauen.

Recycling soll einfacher werden

Ähnliche Probleme mit der Nachhaltigkeit wie bei Eisen und Stahl gibt es auch beim Aluminium. Aluminium wird in sogenannten Elektrolyse-Zellen bei sehr hohen Temperaturen und unter hohem Stromverbrauch erzeugt. Die Aluminiumproduktion steht der Stahlproduktion hinsichtlich des Energieverbrauchs also nicht nach. „Ein großer Hebel ist hier das Aluminium-Recycling, weil für das Einschmelzen von Alt-Aluminium nur etwa fünf Prozent der Energie benötigt werden“, sagt Dierk Raabe. Doch in vielen Branchen ist Aluminium mit Recycling-Anteil nicht gern gesehen, weil es Verunreinigungen enthalten kann. Vor allem Verunreinigungen durch Eisen und Kupfer, etwa aus Schrauben oder Kabeln im Aluminiumschrott, können die Eigenschaften des Aluminiums zum Beispiel bei der Verarbeitung oder sein Verhalten bei Unfällen beeinflussen. In der Luftfahrtindustrie etwa scheidet Alu mit Altanteil aufgrund von Sicherheitsbedenken zumeist aus. „Die Aluminium-Legierungen müssen 20, manchmal 30 Parameter der Hersteller erfüllen“, sagt Dierk Raabe. „Verunreinigungen können sie verändern.“ Viele Hersteller nutzen aber nicht einmal die sortenreinen Produktionsabfälle aus ihrer eigenen Fertigung. Ein Laptopgehäuse beispielsweise wird heute aus einem Block gefräst, wobei mehr als die Hälfte des Materials als Späne verloren geht. Bislang ist es zumeist billiger, eine Aluminium-Legierung neu zu kaufen, als den eigenen Schrott zu verarbeiten.

Als einer der ersten Wissenschaftler überhaupt untersucht Dierk Raabe seit einiger Zeit gemeinsam mit sei-

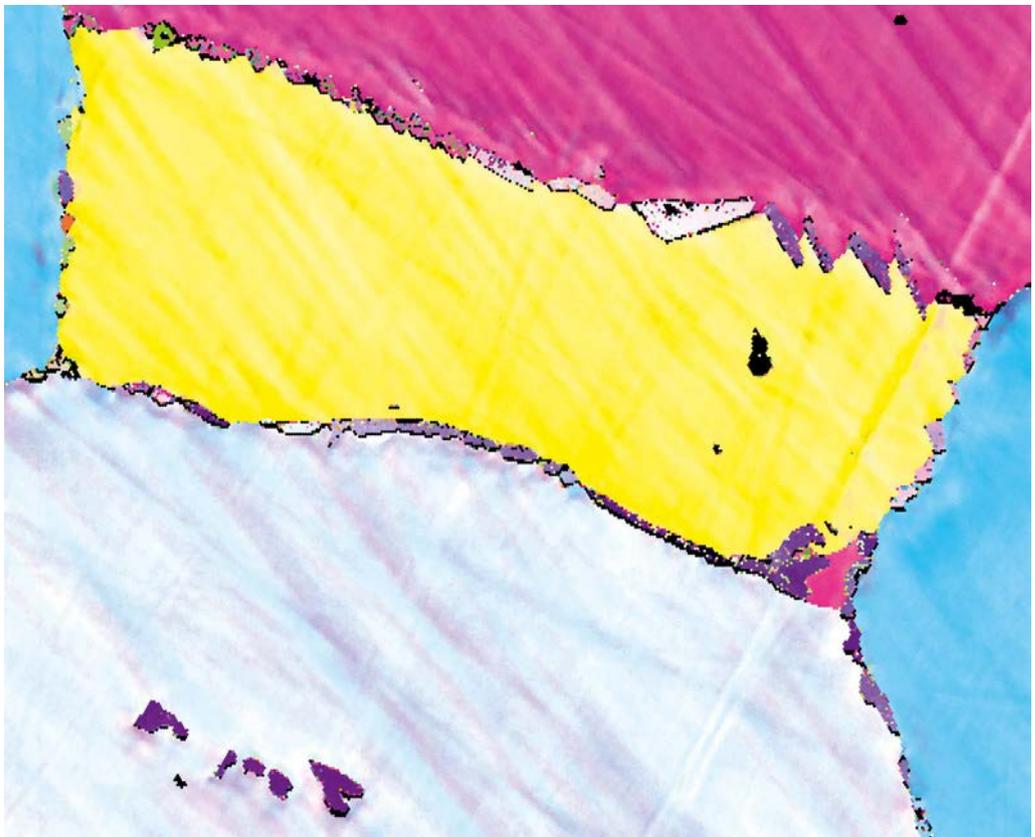




FOTO: FRANK VINKEN FÜR MPG

Auf der Suche nach nachhaltigen Metallwerkstoffen: Martin Palm und Angelika Gedsun erzeugen im Induktionsofen leichte, langlebige und kostengünstige Eisenaluminidlegierungen.

Hitzebeständig durch Nanopartikel: Winzige borhaltige Ausscheidungen an den Grenzen zwischen den im Mikroskopbild unterschiedlich eingefärbten Eisenaluminidstrukturen verhindern, dass die Legierung bei hohen Temperaturen weich wird.



GRAFIK: ANGELIKA GEDSUN / MPI FÜR EISENFORSCHUNG

25 μm

72

nen Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern systematisch, wie sich das Verhalten von Aluminium durch kleinste Recycling-bedingte Verunreinigungen verändert. Zunächst hat er die, wie er sagt, „großen Problembären“ Eisen und Kupfer, im Blick. Im Vakuum scheidet sein Team reines Aluminium auf einer Oberfläche ab und mischt dann nach und nach Eisen dazu, sodass sich in der Materialprobe ein Eisengradient ergibt. Damit können die Forschenden im Detail und nahtlos nachvollziehen, wie sich der Charakter des Aluminiums mit steigendem Eisenanteil verändert. Das Ziel ist klar: Den Aluminiumlegierungen soll künftig zunehmend Alt-Alu beigemischt werden, ohne dass die Qualität der Produkte darunter leidet. „Wie schmutzig darf das Kind sein, dass es trotzdem gesund bleibt? Das wollen wir herausfinden“, sagt Raabe. „Wenn wir mit Recycling-Aluminium 90 Prozent der gewünschten Produkt-Parameter erreichen, dann wird das für viele Anwendun-

gen genügen.“ Anwendungen, bei denen die Sicherheit eine Rolle spielt, würden zunächst ausscheiden. Aber für Verkleidungen in Fahrstühlen oder die Reserveradmulde im Kofferraum sei dieses grüne Aluminium bei Weitem gut genug.

Großes Interesse aus der Industrie

Während Dierk Raabe Eisen im Aluminium eher als Verunreinigung betrachtet, glaubt Martin Palm, Leiter der Forschungsgruppe „Intermetallische Phasen“ am Max-Planck-Institut für Eisenforschung, dass die bewusste Kombination beider Elemente eine große Zukunft hat. Er arbeitet seit einigen Jahren intensiv an Eisen-Aluminium-Legierungen, die zukünftig teure Stähle mit Nickel-, Chrom- oder Kobalt-Beimischung ersetzen sollen. Eisenaluminide sind korrosions- und verschleißbeständig

und damit ausgesprochen langlebig. Außerdem sind sie verhältnismäßig leicht. So könnten sie auch helfen, Produkte aus Metallen nachhaltiger zu machen. Eines aber verhinderte den großen Durchbruch lange Zeit: Bei Temperaturen von mehr als 700 Grad Celsius verlieren sie ihre Festigkeit. Dabei wären sie wegen ihres geringen Gewichts besonders für Turbinen in Kraftwerken und Flugzeugen geeignet – denn weniger Masse braucht weniger Treibstoff. In den letzten Jahren aber haben der Werkstoffwissenschaftler Martin Palm und seine Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter das Temperaturproblem gelöst. Sie haben die Eisenaluminide hitzebeständig gemacht. Dazu sind sie mit ausgeklügelten Methoden tief in die Mikrostruktur vorgedrungen.

Unter dem Elektronenmikroskop sieht man deutlich, dass in einem erstarrten Metall nebeneinander – wie Länder auf einer Landkarte – helle und

dunkle Bereiche liegen. Experten nennen diese „Länder“ metallische Phasen. Diese unterscheiden sich in ihrer chemischen Zusammensetzung und in der Anordnung der Atome, weil sich Atome bei der Erstarrung der Legierung hier und da unterschiedlich zusammenfügen – beispielsweise zu Phasen, die mehr Eisen oder mehr Aluminium enthalten. Die Trennung in verschiedene Phasen macht Eisenaluminid-Legierungen fest – zumindest bei niedrigen Temperaturen. „Bei großer Hitze neigen die Phasen aber leider dazu, miteinander zu verschmelzen, was das Material weich macht“, erklärt Martin Palm. Seinem Team ist es jedoch gelungen, dieses Verschmelzen der Phasen zu unterbinden; unter anderem, indem die Forschenden der Legierung in geringer Konzentration Bor beimischen. Wenn die Legierung erstarrt, bildet das Bor Nanopartikel aus Borid, die sich wie Mohnkrümel auf einem Brötchen an den Phasengrenzen anlagern. Und da Boride zu den hitzebeständigsten Materialien gehören, verhindern sie, dass die Eisenaluminid-Phasen bei hohen Temperaturen miteinander verschmelzen. Damit hat Martin Palm den Eisenaluminiden den Weg in eine große Zukunft geebnet. „Es ist keine Frage: Die Industrie wird in den nächsten Jahren zwangsläufig zu den Eisenaluminiden kommen – denn alle anderen Elemente, die heute in Legierungen enthalten sind, werden langsam knapp.“ Eisen und Aluminium sind die häufigsten Metalle auf der Erde und in großen Mengen verfügbar. Die Reserven von Chrom, Kobalt oder Nickel aber sind bereits deutlich geschrumpft. Das macht sie zu einem Spielball von Spekulanten – und die Preise unkalkulierbar. „Eisenaluminide wären schon heute um 20 Prozent preisgünstiger als Chromstahl und sogar 80 Prozent billiger als Legierungen auf der Basis von Nickel“, sagt Palm. „Diese Entwicklung wird sich noch verstärken.“

Und noch etwas macht die Eisenaluminide besonders nachhaltig. Sie benötigen kaum andere Legierungselemente

und sind damit besonders gut recycelbar. Außerdem sind sie, anders als zum Beispiel bestimmte Chromverbindungen, nicht ökotoxisch. Angesichts der Vorteile ist das Interesse der Industrie groß. Zu den Partnern von Martin Palm zählen daher unter anderem Siemens, Rolls-Royce Deutschland oder die Firma Leistriz Turbinentechnik. Das Pfund, mit dem die Düsseldorfer wuchern können, sei ganz klar das einzigartige Legierungs-Know-how, das es in der Industrie heute kaum noch gebe. „Wir haben die Anlagentechnik, um die Legierungen herzustellen, vor allem aber das Grundlagenwissen über die Phasenübergänge, also darüber, wie sich Legierungen und ihre Phasen mit der Temperatur verändern.“ Und so darf man gespannt sein, wann die erste leichte Eisenaluminid-Turbine in Betrieb geht, die dann natürlich am besten mit umweltfreundlichem Biotreibstoff oder gar Wasserstoff betrieben werden sollte. In Sachen Nachhaltigkeit wäre das ein großer Wurf.

←

ELEKTROLYSE

Dabei werden Substanzen wie etwa Wasser oder Metalloxide mithilfe von Strom in ihre Bestandteile zerlegt. Die Industrie erzeugt Wasserstoff und Aluminium elektrolytisch, aber auch Stahl lässt sich auf diese Weise produzieren.

PHASE

Der Begriff steht in der Chemie für einen stofflichen Bereich mit einheitlichen physikalischen und chemischen Eigenschaften. In einem Material werden Gebiete mit unterschiedlicher Zusammensetzung als verschiedene Phasen bezeichnet.

PLASMA

Im vierten Aggregatzustand der Materie liegen die Teilchen einer gasförmigen Substanz ganz oder teilweise ionisiert vor, also in Form von positiv geladenen Ionen und freien Elektronen.

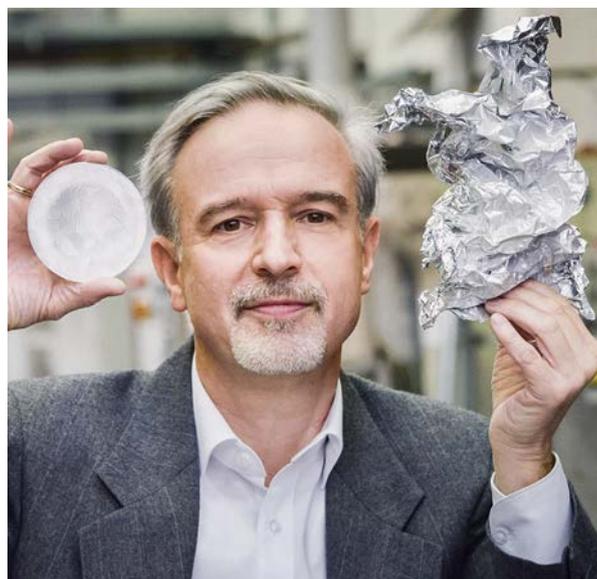
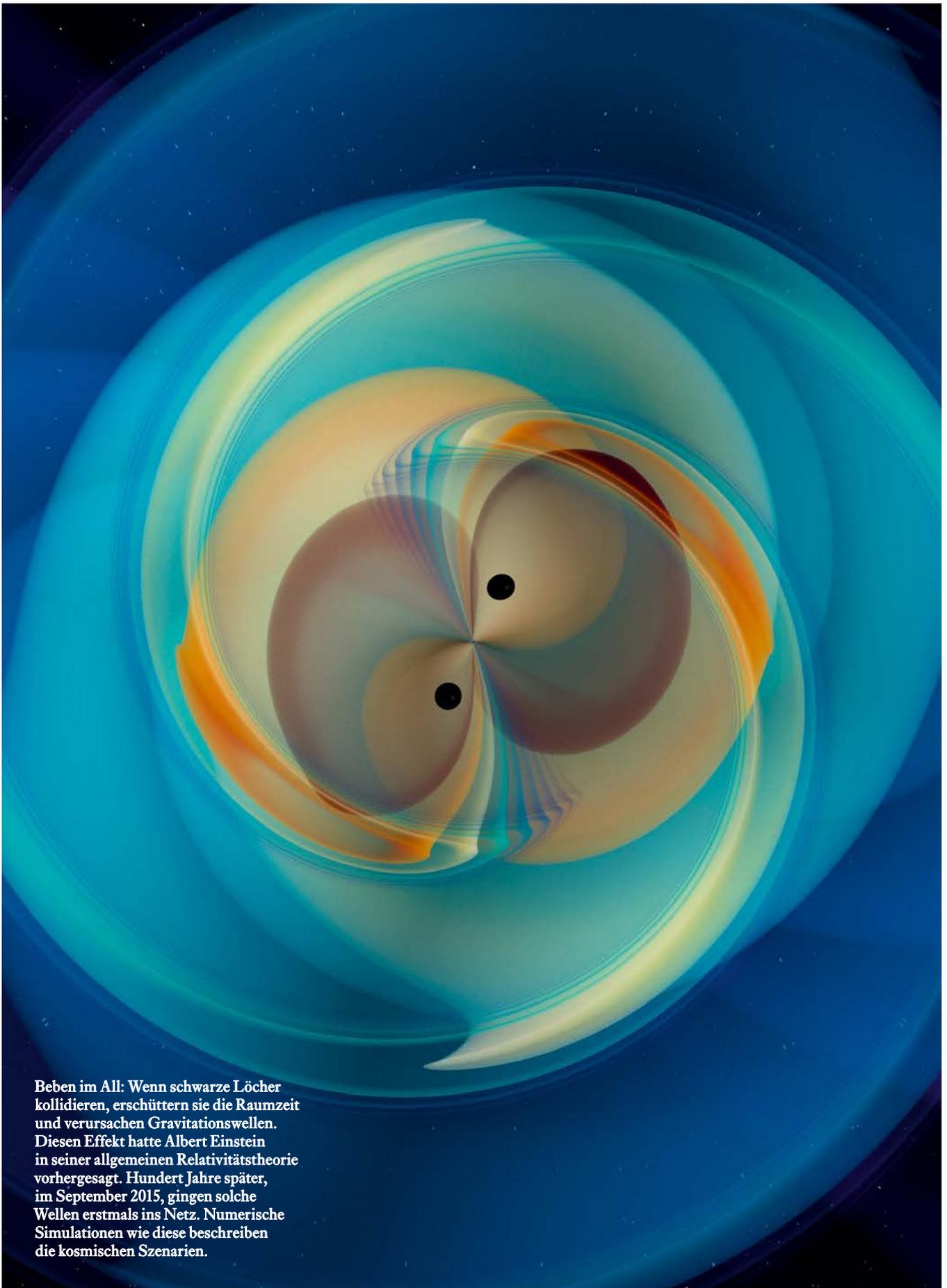


FOTO: FRANK VINKEN FÜR MPG

Vordenker einer nachhaltigen Metallindustrie: Dierk Raabe sieht unter anderem im vermehrten Recycling etwa von Aluminiumschrott eine Möglichkeit, den CO₂-Fußabdruck der Branche zu reduzieren.



Beben im All: Wenn schwarze Löcher kollidieren, erschüttern sie die Raumzeit und verursachen Gravitationswellen. Diesen Effekt hatte Albert Einstein in seiner allgemeinen Relativitätstheorie vorhergesagt. Hundert Jahre später, im September 2015, gingen solche Wellen erstmals ins Netz. Numerische Simulationen wie diese beschreiben die kosmischen Szenarien.

DICKER FISCH SCHLÄGT MÄCHTIG WELLEN

TEXT: HELMUT HORNING

Eigentlich dürfte es nicht existieren: ein schwarzes Loch mit der 85-fachen Masse unserer Sonne. Doch genau das haben Astronomen aufgespürt. Demnach war dieses Schwergewicht Teil eines Doppelsystems, ehe es mit seinem ebenfalls recht massiven Partner verschmolz. Das dabei ausgelöste Beben der Raumzeit sandte Gravitationswellen aus, welche die Forschenden des Max-Planck-Instituts für Gravitationsphysik in Potsdam und Hannover vor so manches Rätsel stellen.

Gravitationswellen sind Boten aus dem dunklen Universum. Albert Einstein hat sie in zwei Aufsätzen in den Jahren 1916 und 1918 beschrieben, in den 1930er-Jahren jedoch vorübergehend an ihrer Existenz gezweifelt. Auf jeden Fall hielt er diese Wellen, deren Existenz die allgemeine Relativitätstheorie vorhersagt, für unmessbar. Doch am 14. September 2015 verfin-gen sie sich zum ersten Mal im fein gesponnenen Netz der Forschenden – und erschütterten die beiden Detektoren von Advanced LIGO an den Standorten Hanford und Livingston in den USA.

Was aber steckt hinter diesem kosmischen Zittern? Die allgemeine Relativitätstheorie ist letztlich eine Feldtheorie. Danach führt die beschleunigte Bewegung von Massen im Schwerfeld zu Störungen, die sich lichtschnell ausbreiten. Diese Störungen heißen Gravitationswellen. Es klingt unglaublich, aber sie dehnen und stauchen den Raum, den sie durchheilen. Theoretisch entstehen sie zum Beispiel, wenn ein Kind auf dem Trampolin auf und ab hüpfet. Aber ein Mensch besitzt eine geringe Masse und hüpfet auch vergleichsweise langsam. Deshalb sind die von ihm ausgesandten Gravitationswellen unmessbar klein.

Im All dagegen findet man große Massen – und sogar ein Trampolin: die Raumzeit. Darin ist alles in Bewegung, weil kein einziger Himmelskörper in Ruhe an einem Ort verharret. Auch die Erde beult bei ihrem Umlauf um die Sonne den Raum aus und strahlt dabei Gravitationswellen mit einer Leistung von 200 Watt ab. Aber selbst diese Gravitationswellen sind noch zu schwach, als dass ein Detektor sie aufspüren würde. Im Universum gibt es jedoch sehr große Massen und rasend schnelle Bewegungen. So stammt das Signal vom 14. September 2015 von zwei schwarzen Löchern, die nach einem turbulenten

Todestanz in Bruchteilen einer Sekunde miteinander verschmolzen. Die Objekte besaßen jeweils rund 30 Sonnenmassen und waren etwa 1,3 Milliarden Lichtjahre von der Erde entfernt.

Seit der ersten Entdeckung vor fünf Jahren haben die Wissenschaftler bis zum Redaktionsschluss dieser Ausgabe von *Max Planck Forschung* 50 Gravitationswellen-Ereignisse sicher nachgewiesen. Diese stammen überwiegend von kollidierenden schwarzen Löchern, und derartige Entdeckungen wurden allmählich zur Routine. Doch am 21. Mai 2019 geschah etwas Gewaltiges: Statt eines „Zwischerns“ in den Detektoren LIGO (USA) und Virgo (Italien) vernahmten die Astronomen gleichsam einen Plopp. Der dauerte nur eine Zehntelsekunde und erreichte eine maximale Frequenz von lediglich 60 Hertz – die geringste bisher beobachtete.

„Von Anfang an stellte uns das sehr kurze Signal vor Herausforderungen, als wir seine Quelle identifizieren wollten“, erzählt Alessandra Buonanno, Direktorin am Max-Planck-Institut für Gravitationsphysik in Potsdam. „Aber wir fanden heraus, dass das Signal dem entspricht, das wir von verschmelzenden schwarzen Löchern erwarten.“ So schließen die Forscher

75



aus den kürzlich ausgewerteten Daten auf zwei wahre Schwergewichte mit ungefähr 85 und 65 Sonnenmassen. Und GW190521, so die Bezeichnung des Ereignisses, brach noch einen Rekord: Die Verschmelzung fand vor etwa sieben Milliarden Jahren statt – zu einer Zeit, als das All halb so alt war wie heute. Und weil ein Blick in die Vergangenheit des Universums zugleich auch eine Reise in die Ferne bedeutet, ist das Signal das fernste je beobachtete.

Damit nicht genug: Bei der kosmischen Kollision wurden acht Sonnenmassen in Gravitationsenergie umgesetzt, und es entstand letztlich ein Koloss, der 142-mal so viel auf die theoretische Waage brächte wie unser Stern. „Wir waren offenbar erstmals Zeuge der Geburt eines mittelschweren schwarzen Lochs geworden“, sagt Alessandra Buonanno. Tatsächlich hatten die Forschenden die Existenz solcher Objekte bislang immer nur vermutet. Sie sind schwerer als die leichteren schwarzen Löcher mit Massen bis zum 65-Fachen der Sonne und weniger massereich als die extrem schweren in den Zentren von Galaxien. Kurz: Ihre Massen liegen in der Größenordnung von 120 bis 100 000 Sonnenmassen.

76

Das klingt alles sehr plausibel. Doch ein Partner des Ereignisses GW190521 tanzt aus der Reihe: „Nach unserem Verständnis davon, wie Sterne altern und wie sie sich entwickeln, sollten wir schwarze Löcher mit entweder weniger als 65 Sonnenmassen oder mehr als 120 Sonnenmassen finden, aber keine dazwischen“, sagt Frank Ohme, Gruppenleiter am Max-Planck-Institut für Gravitationsphysik in Hannover. Das schwarze Loch mit 85 Sonnenmassen fällt aber genau in diese Lücke. „Entweder ist unsere Vorstellung der Sternentwicklung unvollständig, oder hier hat sich etwas grundsätzlich Anderes ereignet“, folgert Ohme.

Nach den Modellen der Astronomen entstehen schwarze Löcher von bis zu etwa 65 Sonnenmassen, wenn schwere Sterne am Ende ihres Lebens angekommen sind. Versiegt der Kernbrennstoff im Innern, geraten die

stellaren Gaskugeln erst in die Energiekrise und dann aus dem Gleichgewicht. Schließlich explodieren sie als Supernova und hinterlassen ein leichtes schwarzes Loch. Am anderen Ende der Gewichtsskala dieser Schwerkraftfallen vermuten die Wissenschaftler extrem schwere Sterne, die bei ihrem Tod gar nicht als Supernovae hochgehen, sondern ohne ein solches Feuerwerk gleich in sich zusammenstürzen und dabei mittelschwere schwarze Löcher von mehr als 120 Sonnenmassen bilden.

So ergibt sich die von Frank Ohme angesprochene Massenlücke von etwa 65 bis 120 Sonnenmassen, in der keine stellaren schwarzen Löcher

AUF DEN PUNKT GEBRACHT

Mit Gravitationswellen haben Astronomen die Verschmelzung der bisher massereichsten schwarzen Löcher beobachtet.

Bei diesem Ereignis wurden die Forschenden erstmals Zeugen der Entstehung eines mittelschweren schwarzen Lochs.

Eines der beiden schwarzen Löcher hatte vor der Verschmelzung 85 Sonnenmassen und dürfte eigentlich gar nicht existieren.



FOTO: SVEN DÖRING FÜR MPG

Licht ins Dunkel: Alessandra Buonanno entwickelt theoretische Modelle, mit denen sich die Signale von Gravitationswellen identifizieren und interpretieren lassen. Die Arbeiten der Direktorin am Max-Planck-Institut für Gravitationsphysik helfen dabei, die Geheimnisse von schwarzen Löchern oder Neutronensternen zu entschlüsseln, und gestatten Rückschlüsse auf die physikalischen Eigenschaften dieser exotischen Objekte.

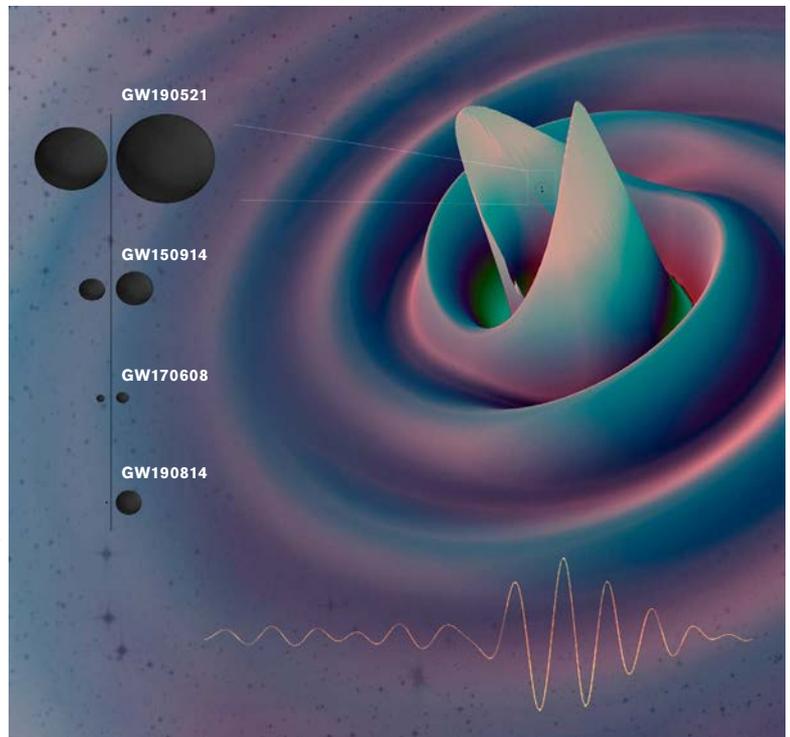
existieren dürften. Denn in der Theorie explodieren jene Sterne, aus denen schwarze Löcher in diesem Bereich entstehen würden, gar nicht als Supernovae und hinterlassen folglich auch keine schwarzen Löcher. Vielmehr erleben diese Sterne eine oder mehrere kurze instabile Episoden, in denen sie jeweils einen beträchtlichen Anteil ihrer Materie abstoßen. Erst nach diesem radikalen Gewichtsverlust bleibt am Ende ein Stern zurück, der in einer Supernova explodiert und ein schwarzes Loch erzeugt, das jedoch weniger als 65 Sonnenmassen besitzt.

Wie aber kam das schwarze Loch mit 85 Sonnenmassen in dem Ereignis GW190521 auf die Welt? Eine Möglichkeit: Die Entwicklungsmodelle der Sterne sind fehlerhaft oder unvollständig, und aus manchen Supernovae entstehen vielleicht doch schwarze Löcher mit mehr als 65 Sonnenmassen. Die Forschenden halten das allerdings für nicht sehr wahrscheinlich: „Ich nehme an, dass dieses Objekt aus einer früheren Verschmelzung eines Doppelsystems hervorgegangen ist“, sagt denn auch Alessandra Buonanno, „vermutlich aus einer Verschmelzung von zwei kleineren schwarzen Löchern oder von zwei massereichen Sternen.“

In der Tat lässt sich das Signal nach der allgemeinen Relativitätstheorie gut als Verschmelzung zweier schwarzer Löcher beschreiben. Trotzdem untersuchen die Wissenschaftler auch noch andere mögliche Erklärungen für ihre Beobachtung: Stammt das Signal vielleicht von kosmischen Strings – hypothetischen Objekten, die sich im frühen Universum gebildet haben könnten? Steckt doch eine Supernova dahinter? Ist GW190521 am Ende gar nicht so weit weg, und sind in Wirklichkeit weniger massereiche schwarze Löcher in geringerer Erdentfernung verschmolzen, deren Wellen durch eine Gravitationslinse verzerrt wurden? Und schließlich: Könnte das Signal von ursprünglichen schwarzen Löchern erzeugt worden sein, die sich in den Kindertagen des Alls noch vor den ersten Sternen bildeten? Fazit aller Über-

legungen: Keines dieser Szenarien will so recht zu den Daten passen.

„Wir wissen noch nicht, ob GW190521 den Vertreter einer völlig neuen Klasse von Doppelsystemen schwarzer Löcher darstellt oder nur das massereiche Ende des Spektrums, das wir bisher gesehen haben“, sagt Karsten Danzmann, Direktor am Hannoveraner Max-Planck-Institut. „Wenn wir alle Verschmelzungen schwarzer Löcher analysiert haben, die LIGO und Virgo in ihrem dritten Beobachtungslauf O3 aufgezeichnet haben, wissen wir hoffentlich mehr.“ An Material mangelt es den Forschern jedenfalls nicht: Während des dritten Beobachtungslaufs, der vom 1. April 2019 bis zum 27. März 2020 dauerte, haben sie die Daten von nicht weniger als 56 möglichen Gravitationswellen-Kandidaten gesammelt.



GRAFIK: D. FERGUSON, K. JANI, D. SHOEMAKER, P. LAGUNA, GEORGIA TECH, MASA COLLABORATION

Schweregewichte: Diese Grafik zeigt ein Standbild aus einer numerischen Relativitätssimulation von GW190521. Dabei waren vor etwa sieben Milliarden Jahren zwei schwarze Löcher mit rund 85 und 65 Sonnenmassen verschmolzen – Rekord! Im Vergleich dazu darunter die schematisch dargestellten Massen anderer Gravitationswellen-Ereignisse.

77

GLOSSAR

GRAVITATIONSWELLEN-DETEKTOR

Die derzeit größten Anlagen sind LIGO in den USA und Virgo in Italien. Sie funktionieren nach dem Prinzip der Interferometrie. Laserlicht läuft in zwei rechtwinklig zueinander angeordneten Vakuumröhren. Durchquert eine Gravitationswelle den Detektor, verlängern oder verkürzen sich die Arme. Dadurch geraten die Laserlichtwellen aus dem Takt, was die Intensität des gemessenen Lichts ändert. LIGO mit Standorten in Hanford und Livingston besteht aus jeweils vier Kilometer langen Armen, Virgo in der Toskana besitzt drei Kilometer lange Röhren.

Eine Perspektive für den Klimaschutz: Solange der Wald wächst, nimmt er große Mengen des Treibhausgases CO₂ auf.



WALD WANDELT DAS KLIMA

TEXT: KLAUS JACOB

Wälder können große Mengen Kohlendioxid aus der Atmosphäre entfernen – so weit herrscht Konsens in der Wissenschaft. Streit gibt es jedoch darüber, wie der Wald dem Klimaschutz mehr dient: wenn er nachhaltig bewirtschaftet wird oder wenn er sich selbst überlassen bleibt. Mitten drin in dieser Auseinandersetzung: Ernst-Detlef Schulze, emeritierter Direktor am Max-Planck-Institut für Biogeochemie in Jena.

Der Kampf gegen den Klimawandel ist nur mit Verbündeten zu gewinnen – der Wald kann einer davon sein. Er ist ein natürlicher Gegenspieler von Öl und Kohle, denn Bäume nehmen Kohlendioxid auf, wandeln es mithilfe des Sonnenlichts in Zucker um und bauen damit unter anderem Holz auf. Ein Kubikmeter Holz enthält im Schnitt etwa 0,3 Tonnen Kohlenstoff, was rund einer Tonne CO₂ entspricht. So entziehen Wälder der Atmosphäre riesige Mengen des Treibhausgases und sind neben den Ozeanen weltweit eine der großen Kohlenstoffsinken, wie es im Fachjargon heißt – in Deutschland sogar die größte.

Forscher der ETH Zürich um Jean-François Bastin haben sogar berechnet, dass eine großflächige Aufforstung das Klimaproblem zumindest für die nächsten Jahrzehnte lösen

könnte. Dass das realistisch ist, bezweifeln jedoch viele Fachleute, unter anderem, weil man dazu ein Gebiet von der Größe der USA bewalden müsste und geeignete Flächen infolge des Klimawandels immer knapper werden. Dies dürfte vielerorts die Konkurrenz mit der Nahrungsmittelproduktion verschärfen. Die Entwicklung weist derzeit ohnehin in die falsche Richtung. Laut UN-Waldzustandsbericht 2020 verschwinden jedes Jahr rund zehn Millionen Hektar, eine Fläche so groß wie Bayern und Baden-Württemberg zusammengekommen. In Brasilien brennen Plantagenbesitzer den Amazonasregenwald nieder, ermuntert von einem Präsidenten, dem der Export von Agrarprodukten – nicht zuletzt nach Europa – wichtiger ist als Klima und Umwelt. In den Vereinigten Staaten lodern, verstärkt durch den Klimawandel, immer verheerendere Feuer. Und in Europa schaden Hitze, Trockenheit und Stürme dem Forst, sodass Borkenkäfer und Schädlinge leichtes Spiel haben.

Die Frage, wie der Wald umgebaut werden muss, um dem Klimawandel zu widerstehen, treibt derzeit viele Expertinnen und Experten um. In diesem Zusammenhang streiten sie auch darüber, welche Art von Wald für den Klimaschutz am meisten bringt. Überlässt man den Wald besser sich selbst, wie es in einigen Naturparks der Fall ist? Oder nützt der Wald

dem Klima mehr, wenn er nachhaltig bewirtschaftet wird? Ernst-Detlef Schulze, emeritierter Direktor am Max-Planck-Institut für Biogeochemie in Jena, hat zusammen mit anderen Wissenschaftlern die Wälder in Mitteleuropa untersucht – und ist zu einem Ergebnis gekommen, das auf den ersten Blick vielleicht überrascht: Ein nachhaltig bewirtschafteter Wald, so rechnet er vor, leiste einen wesentlich höheren Beitrag für den Klimaschutz als ein sich selbst überlassener.

Die Idee dahinter: Ein Naturwald hilft dem Klima nur dann, wenn er wächst, wenn also die Masse an Holz – und damit an gebundenem Kohlenstoff – zunimmt. In älteren Wäldern, in denen der Holzvorrat nicht mehr steigt, ist die Kohlenstoffbilanz dagegen weitgehend ausgeglichen. Sobald Bäume sterben und ihr Holz verrottet, wird der gespeicherte Kohlenstoff wieder als CO₂ freigesetzt. Mehr noch: Der Wald kann sogar zu einer Kohlenstoffquelle werden, etwa wenn Trockenheit, Windwurf oder Schädlinge wie der Borkenkäfer der Vegetation zusetzen, wie es derzeit im Harz zu sehen ist. Dies hat auch eine Studie der University of Leeds ergeben. Danach geht die Fähigkeit, Kohlendioxid aufzunehmen, in ungestörten Tropenwäldern bereits seit den 1990er-Jahren zurück. Das Amazonasgebiet, so die Warnung der Wissenschaftler, könne Mitte der 2030er-Jahre sogar

79



zur Kohlendioxidquelle werden.

Im bewirtschafteten Wald gelten andere Gesetze: Hier gibt es keinen natürlichen Gleichgewichtszustand, denn es werden ständig Stämme entnommen. Daten des Bundesministeriums für Ernährung und Landwirtschaft aus dem Jahr 2014 zufolge wachsen in deutschen Wäldern, die zum größten Teil wirtschaftlich genutzt werden, pro Hektar jährlich gut elf Kubikmeter Holz heran. Nur ein kleiner Teil davon verrottet auf dem Waldboden, gut zwei Drittel des jährlichen Zuwachses dienen dem Menschen in vielfacher Weise. Das Holz wird zu langlebigen Produkten wie Holzhäusern oder Möbeln verarbeitet, steckt in Gebrauchsartikeln wie Papier, Pappe oder Taschentüchern und sorgt in Form von Scheiten oder Pellets für wohlige Wärme. Was verfeuert wird, ersetzt fossile Brennstoffe. Denn ohne Holz würden viele Hausbesitzer zu Öl oder Kohle greifen. Aber auch ein großer Teil der langlebigen Produkte wird nach der Nutzung verbrannt und dient letztlich der Energiegewinnung. In einem Anfang 2020 im Fachmagazin *Global Change Biology – Bioenergy (GCBB)* veröffentlichten Artikel bilanzierte ein Team um Ernst-Detlef Schulze die CO₂-Ströme für deutsche Nutzwälder, soweit es die Daten zuließen, und kam zu dem Ergebnis, dass allein durch die Substitution fossiler Brennstoffe durch Holz jeder Hektar Wirtschaftswald zwischen 1,9 und 2,2 Tonnen Kohlendio-

xid pro Jahr einspart. Dies gilt allerdings nur für den Fall, dass das Holz tatsächlich Öl oder Kohle ersetzt. Sollte Deutschland seine Energie zu hundert Prozent regenerativ gewinnen, dann würde diese Rechnung nicht aufgehen.

Die Klimabilanzen verschiedener Wälder

Nicht alles Holz, das nachwächst, wird geerntet. Schulze geht davon aus, dass nur etwa zwei Drittel des Zuwachses dem Wald entnommen werden. Ein knappes Drittel bleibt also im Forst. Unter anderem wächst der Holzvorrat im Wald; jeder Hektar entzieht der Atmosphäre so jährlich ein bis zwei Tonnen Kohlendioxid, wie Schulze und sein Team ermittelt haben. Durch den Ersatz fossiler Brennstoffe und den Holzzuwachs ergibt sich im Mittel also eine Reduktion der CO₂-Emissionen beziehungsweise der CO₂-Konzentration von rund 3,5 Tonnen pro Hektar Wald. Inzwischen hat eine Gruppe um Schulze auch quantifiziert, wie viel Treibhausgas der Atmosphäre erspart bleibt, wenn Produkte mit relativ geringem Energieaufwand aus Holz hergestellt werden und nicht aus Materialien, die einen höheren Energieaufwand erfordern, oder aus fossilen Rohstoffen – ein Haus aus Holz statt Beton oder Ziegeln ist dafür ein Beispiel. „Diesen Beitrag des Waldes zur Reduktion der CO₂-Emis-

sionen beziffern wir auf etwa 2,8 bis 4,9 Tonnen pro Hektar und Jahr“, sagt Schulze. Dieser Beitrag kommt zum Ersatz fossiler Brennstoffe und zum Holzzuwachs noch hinzu. Eine Veröffentlichung der Ergebnisse bereiten Schulze und seine Kollegen derzeit vor. Aber trägt der bewirtschaftete Wald damit tatsächlich mehr zum Klimaschutz bei als ein naturbelassener? Auch das hat Schulze berechnet. Dabei muss man bedenken, dass es echte Urwälder in Deutschland seit Menschengedenken nicht mehr gibt. Die Wälder werden schon seit Langem auf die eine oder andere Art genutzt und kultiviert.

Die heutigen Naturschutzgebiete, in denen der Forst sich selbst überlassen ist, sind alle relativ jung. Sie haben noch längst nicht das Stadium erreicht, in dem die Kohlendioxid-Bilanz ausgeglichen ist. Sie sind also in der Lage, noch viele Jahre oder Jahrzehnte weiteres Kohlendioxid zu speichern. Und diese Jahre sind für den Klimaschutz besonders wichtig, da in dieser Zeit der Umbau der Energiewirtschaft vorangetrieben wird. In Deutschland ist etwa ein Drittel der Fläche bewaldet, davon werden etwa drei Prozent nicht genutzt. Doch welches Naturschutzgebiet liefert aussagekräftige Zahlen für einen Vergleich? Es gibt sehr unterschiedliche Wälder: Laub-, Nadel- und Mischwälder, junge und alte Wälder. Sie stehen auf sandigem Boden, auf Kalk oder Lehm, in bergigem oder flachem Terrain, sind von großen und kleinen Lichtungen durchsetzt. Eigentlich müsste man den Zuwachs in jedem Forst eruieren und einen Mittelwert bilden. Doch dafür reicht die Datenlage nicht aus. In seinem Artikel in *GCBB* hat Schulze zur Vergleichsrechnung daher Waldinventuren im Nationalpark Hainich in Thüringen aus den Jahren 2000 und 2010 zitiert. Zur Jahrtausendwende ergab die Erhebung einen Holzbestand von 363,5 Kubikmetern pro Hektar, zehn Jahre später waren es 367,5 Kubikmeter. Mit diesen Zahlen als Grundlage kam Schulze für den unbewirtschafteten Naturwald auf einen Zuwachs von 0,4 Kubikmeter pro Hektar und Jahr. Das entspricht einem CO₂-Äquivalent von 0,37 Tonnen – gegenüber

Leidenschaft für den Wald: Nach seiner Emeritierung hat der Forstwissenschaftler und Biologe Ernst-Detlef Schulze Waldgebiete erworben, um die er sich mit großem Engagement kümmert.

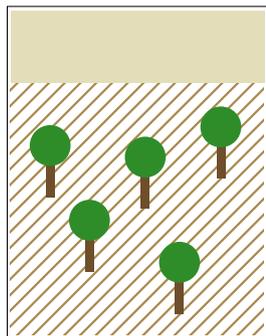


FOTO: KLAUS JACOB

GRAFIK: GCO

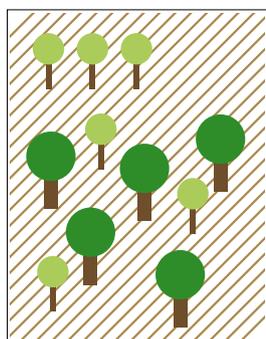
A nach Schulze

Inventur 2000



5015 ha 363,5 m³/ha

Inventur 2010

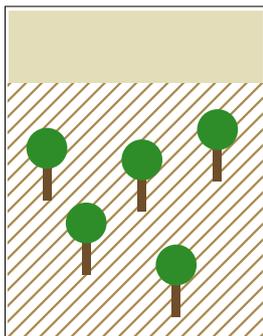


5287 ha 367,5 m³/ha

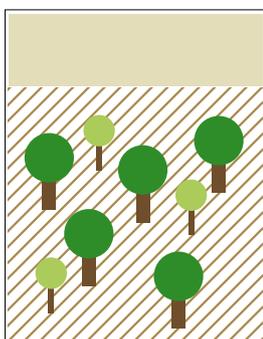
Holzzuwachs

0,4 m³
pro Hektar pro Jahr

B nach Großmann I



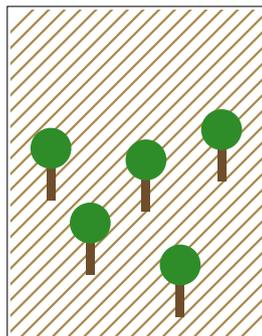
5015 ha 363,5 m³/ha



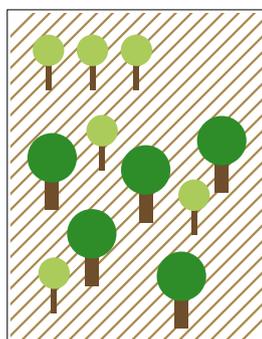
5015 ha 453,0 m³/ha

9 m³
pro Hektar pro Jahr

C nach Großmann II



5287 ha 306,0 m³/ha



5287 ha 367,5 m³/ha

6 m³
pro Hektar pro Jahr

Unterschiedliche Sichtweisen: Das Team um Ernst-Detlef Schulze betrachtet den Hainich als eine Betriebseinheit (A). Dass darin die bewaldete Fläche, die beprobt wird (schraffierte Fläche), zwischen den Inventuren im Jahr 2000 und im Jahr 2010 zugenommen hat, spielt in dieser Sicht keine Rolle. Die jungen, dünnen Bäume auf den neuen Waldstücken lassen den Holzvorrat bei der Inventur von 2010 dann jedoch vergleichsweise klein ausfallen. So ergibt sich ein Zuwachs von nur 0,4 Kubikmetern pro Hektar und Jahr. Forschende um Manfred Großmann betrachten daher entweder bei der Inventur von 2010 nur die Flächen, die im Jahr 2000 schon bewaldet waren (B). Für dieses Gebiet ermitteln sie einen Holzzuwachs von neun Kubikmetern pro Hektar und Jahr. Oder sie berücksichtigen die 2010 neu bewaldeten Areale in der Inventur von 2000 als Gebiete ohne Holzvorrat (C) und kommen so zu einem Holzzuwachs von sechs Kubikmetern pro Fläche und Jahr.

Betriebseinheit
 Fläche mit Messungen
 Fläche ohne Messungen
 älterer Wald
 jüngerer Wald

3,2 bis 3,5 Tonnen im Wirtschaftswald. Schulzes Fazit: Ein nachhaltiger bewirtschafteter Wald ist etwa um den Faktor zehn vorteilhafter für den Klimaschutz als ein naturbelassener. Die Nutzung von Holz in langlebigen Produkten ist hier noch gar nicht berücksichtigt.

An dieser Rechnung entzündete sich heftige Kritik, die zu einem wochenlangen Schlagabtausch in Fachmagazinen, aber auch in den Medien führte. Der Stein des Anstoßes war, dass sich die Waldfläche im Hainich zwischen der ersten und der zweiten Inventur vergrößert hatte. So erhöhte sich die Zahl der Stichprobepunkte von 1200 auf 1421. Wo vorher nur Bü-

sche standen, wuchsen zehn Jahre später armdicke Bäumchen. Dieser junge Wald reduzierte den durchschnittlichen Holzbestand, denn die Zahlen bezogen sich stets nur auf die bewaldete Fläche. Ernst-Detlef Schulze begründet sein Vorgehen damit, dass es sich beim Hainich um eine Betriebseinheit handelt, die immer als Ganzes betrachtet werden müsse – auch wenn Teilflächen zu- und abnehmen und die Anzahl der Stichprobepunkte sich ändere: „Weil in der Bundeswaldinventur ebenfalls so verfahren wird, können wir die Ergebnisse auch vergleichen“, sagt der Wissenschaftler.

Doch Torsten Welle von der Naturwald

Akademie in Lübeck hält diese Art der Berechnung für falsch: „Das ist Rosinenpickerei!“ Auch der Leiter des Nationalparks Hainich, Manfred Großmann, kritisiert die Vorgehensweise. Er macht eine andere Rechnung auf: Wenn man aus der zweiten Inventur nur die 5015 Hektar mit 1200 Messpunkten betrachtet, die bereits in der ersten erfasst wurden, kommt man auf einen jährlichen Zuwachs von knapp neun Kubikmetern pro Hektar, wofür die Bäume etwa neun Tonnen CO₂ aus der Atmosphäre saugen. Und bei einer Bezugsfläche von 5287 Hektar mit 1421 Messpunkten – wenn also im Jahr 2000 ein Teil der Fläche als unbewaldet in die Berechnung eingeht – sind es sechs

Kubikmeter pro Hektar. Beide Werte lassen den Naturwald in puncto Klimaschutz besser wegkommen als den Wirtschaftswald – aber nur, solange Ersterer noch wächst und die CO₂-Ersparnis durch Holzprodukte nicht berücksichtigt wird. Auch der Forstwissenschaftler und Ökologe Henrik Hartmann, ein Kollege von Schulze am Jenaer Max-Planck-Institut, findet, Schulze habe sich durch den Vergleich mit der korrigierten Bezugsfläche angreifbar gemacht. Außerdem hätte er zusätzlich weitere Naturschutzgebiete betrachten sollen, auch außerhalb Deutschlands. Entsprechende Zahlen von Naturparks in der Slowakei werden in der Arbeit

sogar aufgeführt. Mit ihnen ergibt sich ein durchschnittlicher Zuwachs im Holzvorrat unbewirtschafteter Wälder von rund drei Kubikmetern pro Hektar und Jahr. Wenn man so rechnet, tragen nachhaltig bewirtschaftete Wälder zwar nicht zehnmal mehr zur CO₂-Speicherung bei als unbewirtschaftete, sie sind aber für den Klimaschutz zumindest genauso günstig. „Auch das wäre ja ein gutes Argument“, sagt Henrik Hartmann. Schulze und seine Mitautoren ziehen zum direkten Vergleich mit den Wirtschaftswäldern allerdings nur den Thüringer Nationalpark Hainich heran. Ernst-Detlef Schulze begründet dies damit, dass sie eine Bilanz für

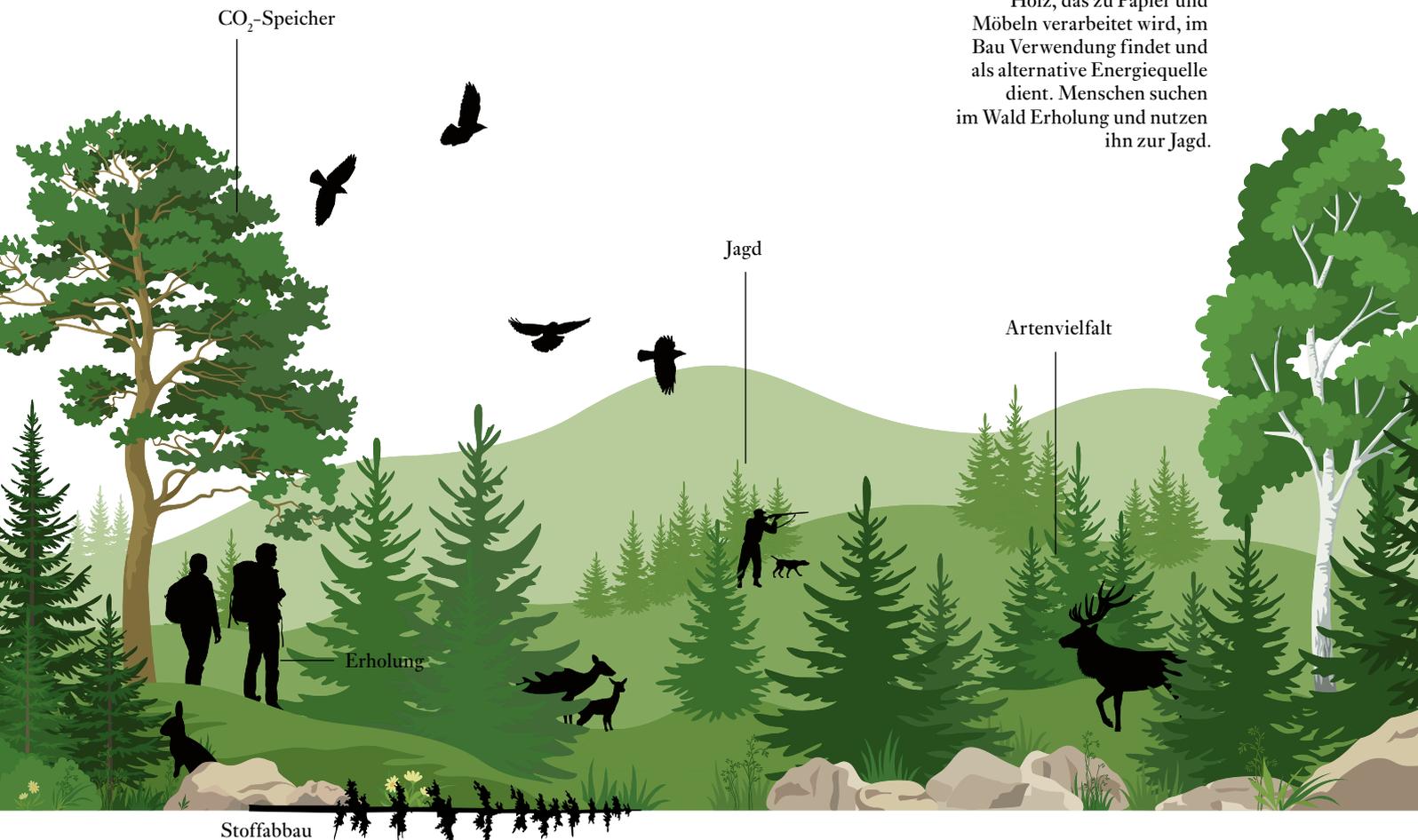
Deutschland ziehen wollten und hierfür keine weiteren Daten zur Verfügung stünden.

Wald dient nicht nur dem Klimaschutz

Außerdem stammten die Daten aus den slowakischen Schutzgebieten von relativ kleinen Versuchsflächen. Sie berücksichtigten daher nicht sämtliche Veränderungen, also auch Verluste durch Sturm- oder Käferschäden, in einem zusammenhängenden Waldgebiet. „Das geht nur über Inventuren auf Landschaftsebene“, erklärt

FUNKTIONEN UND NUTZEN DES WALDES

82



Vielseitiges Grün: Wald nimmt nicht nur CO₂ auf und wirkt so dem Klimawandel entgegen, er speichert auch Wasser und bietet vielen Pflanzen und Tieren einen Lebensraum. Zudem liefert er Holz, das zu Papier und Möbeln verarbeitet wird, im Bau Verwendung findet und als alternative Energiequelle dient. Menschen suchen im Wald Erholung und nutzen ihn zur Jagd.

Schulze. Das Thünen-Institut für Waldökosysteme, das dem Landwirtschaftsministerium untersteht und die jährliche Waldzustandserhebung herausgibt, stellt sich hinter Schulze und sein Team – wenn auch mit Einschränkungen. Der Hainich, heißt es dort, sei nicht repräsentativ für den deutschen Wald, da es sich um einen Kalkstandort handle. Allein aufgrund dieser Zahlen könne man nicht beurteilen, ob Waldschutz für den Klimaschutz besser sei als die energetische Nutzung von Holz.

Die Diskussion zeigt: Waldinventuren haben ihre Grenzen. So geht in den Holzbestand nur das Stammholz ein,

und zwar bloß von Bäumen, die in Brusthöhe dicker als sieben Zentimeter im Durchmesser sind. Doch Kohlenstoff steckt auch im Boden: in den Wurzeln, in der Bodenstreu, im Mineralboden und in der unterirdischen Biomasse. Kritiker der Klimabilanz, die Schulze und seine Kollegen ziehen, führen zudem an, die Nebenwirkungen des Holzeinschlags blieben unberücksichtigt: Um an die Stämme zu gelangen, arbeiten sich schwere Maschinen durchs Unterholz, was die Bodenstruktur verändern kann. Pierre Ibisch, Professor an der Hochschule für nachhaltige Entwicklung Eberswalde, weist zudem darauf hin, dass größere Kahlschläge zu einer erheblichen Temperaturerhöhung führen, weil die Sonnenstrahlen nun bis zum Boden dringen können. Sogar das Auflichten, das nutzbaren Bäumen durch gezielte Eingriffe mehr Platz schafft, führe zu einer Erwärmung. Förster sprechen deshalb vom Heißschlagen. Die Folgen: Der Boden heizt sich auf, Kohlenstoff entweicht, und die Bäume am Rand der neuen Lichtung geraten in Stress.

Einen Naturwald mit einem bewirtschafteten Wald zu vergleichen, ist immer eine wissenschaftliche Gratwanderung. Denn man muss viele Annahmen treffen, weil längst nicht alle Details erforscht sind. Dazu kommt, dass der Wald nicht nur dem Klimaschutz dient, sondern vielfältige Aufgaben erfüllt. So suchen die Menschen dort Erholung, wandern, fahren Rad oder joggen. Zudem speichert der Wald Wasser und verhindert dadurch Überschwemmungen. Im Hochsommer senkt er die Temperaturen durch Verdunstung. Und nicht zuletzt bieten Wälder vielen Pflanzen- und Tierarten einen Lebensraum, darunter auch Rehen und Hirschen, die gerade jungen Bäumen gern die Triebe abfressen.

Schulze kennt das alles aus eigener Erfahrung, denn er besitzt mehrere Waldstücke. „Ich habe den Wald erworben, weil ich ihn in meinem Ruhestand gerne gestalten wollte“, sagt der emeritierte Max-Planck-Direktor, der am Anfang seiner Laufbahn mal auf bestem Weg in den höheren Forstdienst war. Als Waldeigentümer hat

er nicht nur die ökologischen, sondern auch die wirtschaftlichen und sozialen Aspekte der Waldbewirtschaftung kennengelernt. Einer seiner Wälder schmiegte sich um einen längst erloschenen Vulkankegel – steiles Gelände also. Den Höhenunterschied von 400 Metern meistert der 79-Jährige mit dem Elan eines jungen Mannes. Wenn man mit ihm im Geländewagen die halsbrecherischen Wege entlangfährt, hat man den Eindruck, er spreche über einen Garten, den er mit Liebe pflegt. Hier bedauert er einige hundertjährige Buchen, denen ein später Frost geschadet hat, sodass sie im nächsten Jahr wahrscheinlich absterben werden. Dort hat er ein paar Vogelbeerbäume gepflanzt, die jedoch nicht gedeihen wollen. Abgesehen von einzelnen Fichtenmonokulturen, wirkt der Wald mit seinen vielen Büschen und dem Unterholz wild und artenreich. Kein Wunder, dass er bei Wanderern beliebt ist, zumal der alte Vulkan die höchste Erhebung in der Umgebung ist und die Felsen an seinem Gipfel ein attraktives Ziel sind. Doch gerade die Erholungsuchenden bereiten Schulze Sorge. Er habe mit erheblichem Aufwand Wege angelegt, sagt er, um Holz ernten zu können. Nun hinterließen Wanderer ihren Müll, und Mountainbiker rasten im Sturzflug zu Tal und verschreckten die Tiere. Er trage die Kosten, während andere von seinem Engagement profitierten.

Zu viel Rotwild und zu viele Rehe

Auf seinem Handy zeigt er das Foto eines kapitalen Hirschs auf einer Lichtung. Was jeden Städter entzücken würde, ist für Schulze ein weiteres Problem: Es gibt zu viel Rotwild und zu viele Rehe. Große Räuber wie Bär oder Wolf, die helfen könnten, den Bestand zu dezimieren, wurden schon vor Jahrhunderten ausgerottet. Auch wenn der Wolf allmählich zurückkehrt und Luchse wieder in einigen Wäldern zu finden sind – auch in Schulzes –, gibt es zu wenige natürliche Feinde des Wildes. Wenn es Waldbesitzern vor allem um die Jagd



GRAFIK: GCO, ILLUSTRATIONEN: ISTOCK

geht, füttern sie zudem im Winter die Tiere, die im restlichen Jahr die jungen Bäumen anknabbern. Das verhindert Schulze mit vielen Zäunen. Selbst intensive Bejagung begrenzt den Wildbestand nicht, weil in seinen relativ kleinen Wald immer wieder Tiere von außen einwandern. Aber es geht um mehr als Verbisschäden und rücksichtslose Mountainbiker. Letztlich geht es darum, wie man in Deutschland und Europa mit den Wäldern künftig umgehen soll. Im Forst zeichnet sich derzeit so etwas wie eine Zäsur ab. Auf der einen Seite sollen die Bäume dem Klimaschutz dienen, auf der anderen Seite setzt ihnen der Klimawandel immer mehr zu. Nach der deutschen Waldzustandserhebung 2019 war der Kronenzustand „noch nie so schlecht wie 2019“. Nicht einmal ein Viertel der Bäume wies eine gesunde Krone auf. Die trockenen Sommer hinterlassen zunehmend ihre Spuren – und haben obendrein Langzeitfolgen. Der Biologe Ibisch spricht vom „physiologischen Gedächtnis“ der Bäume. Und beim Klimawandel zeichnet sich keine Entwarnung ab, im Gegenteil, die Temperaturen steigen weiter. Ibisch warnt davor, dass langfristig sogar vielerorts eine Waldsteppe mit hohem Grasanteil entstehen könnte. Schon heute vernichten Stürme, Borkenkäfer und Pilze ganze Wälder. Das viele Schadholz wiederum lässt die Holzpreise purzeln. Den Waldbesitzern bereitet das große Sorgen – Pierre Ibisch spricht sogar von Panik. Viele von ihnen verramschen das Fichten-Schadholz nach China, um wenigstens etwas Geld zu verdienen, und fällen die Buchen, solange diese noch halbwegs gesund sind. Nach Angaben des Thünen-Instituts hat der Einschlag 2018 durch die Entnahme von Schadholz um zehn Prozent gegenüber dem Vorjahr zugenommen. Im vergangenen Jahr hat er sich allerdings wieder halbwegs stabilisiert, wenn auch auf hohem Niveau.

Beim Wald spielt obendrein die menschliche Psyche eine Rolle und erschwert eine sachliche Diskussion. Unter den Kronen von Eichen und Buchen fühlt sich fast jeder Mensch instinktiv wohl und kommt zur Ruhe. Vor allem die Deutschen haben ein geradezu ro-

mantisches Verhältnis zum Wald. Er wird verklärt als Gegenentwurf zur hektischen Stadt und zur stinkenden Fabrik. Das führt dazu, dass Waldfans zur Stärkung ihrer Seele Bäume umarmen und sich nach ihrem Tod unter Eichen oder Buchen begraben lassen. Manchmal geht die Waldliebe allerdings zu weit: Henrik Hartmann hat erfahren, dass Umweltaktivisten in Weimar Forstmaschinen von Waldarbeitern zerstört haben, um Einschläge zu verhindern.

Vor diesem Hintergrund hat eine Berechnung, wie sie Schulze vorlegt, auch eine erhebliche politische Bedeutung. Er selbst leitet aus seiner

Kalkulation Forderungen ab. Seiner Ansicht nach sollten Waldeigentümer für eine nachhaltige Bewirtschaftung belohnt werden. Sie könnten etwa von einer CO₂-Steuer profitieren, die auf die Verbrennung fossiler Brennstoffe erhoben würde. Unterstellt man dagegen, dass ein Naturwald dem Klimaschutz besser dient als ein Nutzwald, müsste die Politik anders vorgehen. Dann wäre sie gehalten, große Teile der deutschen Wälder sich selbst zu überlassen und von den Besitzern der Wirtschaftswälder für jeden Einschlag eine CO₂-Abgabe zu verlangen. Doch das wäre kurzfristig gedacht, denn Holz ist als Werkstoff nicht zu ersetzen, zumal Holz in Zu-



FOTO: PICTURE ALLIANCE/IMAGBROKER | ANDREAS VITTING

Vom Menschen geformt: Bettelmönche schlugen im 15. Jahrhundert eine Aushöhlung in die Betteleiche, damit Reisende darin Almosen ablegen konnten. Mit der Zeit wuchs das Loch, sodass das Wahrzeichen des Nationalparks Hainich sein heutiges Aussehen erhielt.

kunft vermehrt Baustoffe ersetzen soll, die mit viel Energie hergestellt werden. „Wie sollen wir auf Bewirtschaftung verzichten, wenn wir Holzprodukte brauchen?“, gibt Max-Planck-Forscher Hartmann zu bedenken. Denn wenn die Stämme nicht aus Deutschland kommen, dann müsste man sie aus Sibirien oder aus den Tropen importieren, was dem Klima mit Sicherheit mehr schaden würde, weil die Forstwirtschaft dort meistens nicht nachhaltig arbeitet. Im schlimmsten Fall werden dort Wälder abgeholzt, die große Mengen Kohlenstoff speichern und nicht entsprechend schnell nachwachsen können.

Natürlich spielen auch finanzielle Interessen eine nicht unwichtige Rolle, denn etwa die Hälfte des deutschen Waldes ist in Privatbesitz. Die Liste der Grundbesitzer, die mit dem Wald Geld verdienen wollen, liest sich wie ein Verzeichnis der alten Adelsgeschlechter: von Thurn und Taxis über Hohenzollern bis zu Knigge und Guttenberg. Bislang verzeichnen sie nur Einnahmen, wenn sie Holz verkaufen. Das ist derzeit schwer genug. Doch wenn sie zudem noch eine CO₂-Abgabe für jeden Einschlag bezahlen müssten, wäre das nicht vertretbar, meint auch Henrik Hartmann. Schließlich dienen die Wälder in vielfacher Weise der Allgemeinheit, ob als Hochwasserschutz oder als Erholungsraum. Mit Förderprogrammen allerdings, darauf weist Pierre Ibisch hin, dürfe man keinesfalls falsche Anreize schaffen, die zu einem

vermehrten Einschlag führen: Holz dürfe kein Ersatz für Kohle werden. Wie auch immer der Wald die zunehmende Klimaerwärmung bremst – ein Allheilmittel ist er nicht. Denn die Kapazität, Kohlenstoff aufzunehmen, ist selbst beim größten Wald irgendwann erschöpft. Auf Dauer hilft gegen die Erderwärmung nur eines: die Treibhausgasemissionen drastisch herunterzufahren.

AUF DEN PUNKT GEBRACHT

Ein Team um Ernst-Detlef Schulze hat eine Studie veröffentlicht, der zufolge die Klimabilanz für nachhaltig bewirtschaftete Wälder deutlich besser ausfällt als für nicht bewirtschaftete Wälder.

Andere Forschende kritisieren, wie in dieser Studie die Klimabilanz eines Naturwaldes berechnet wird, und kommen zum Schluss, dass dessen Nutzen für den Klimaschutz größer ist.

Es ist schwierig, alle Faktoren, die bei einem solchen Vergleich berücksichtigt werden müssten, zu quantifizieren. Ein endgültiges Urteil, welche Form des Waldes für den Klimaschutz vorteilhafter ist, steht daher noch aus. In die Diskussion spielen zudem unterschiedliche Interessen hinein.

Neben dem Klimaeffekt erfüllen Wälder viele Funktionen, etwa als Rohstoffquellen, Erholungsräume oder Wasserspeicher. Bewirtschaftete und unbewirtschaftete Wälder sind dafür unterschiedlich gut geeignet. Diese Funktionen haben im Augenblick aber keinen wirtschaftlichen Wert.

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

für Chemie und Life Sciences

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

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

ANZEIGE

GDCh

GESELLSCHAFT DEUTSCHER CHEMIKER

www.gdch.de/karriere



Sonnenaufgang über den Wipfeln: Bis zu 45 Meter hoch ist die Hängebrücke des Baumkronenpfads im Kakum-Nationalpark nördlich von Cape Coast. Die Forschenden haben diese Brücke als idealen Standort für die Beobachtung von Nachtigallen und vielen anderen Tieren erkoren.

86 Max-Planck-Wissenschaftler kooperieren mit Partnern in mehr als 120 Ländern. Hier schreiben sie über ihre persönlichen Erfahrungen und Eindrücke. Anna Proß vom Max-Planck-Institut für Ornithologie untersuchte in Ghana das Gesangsverhalten von Nachtigallen. Sie berichtet von ihren Begegnungen mit Giftschlangen und einem neuen Faible für Kochbananen. Und zeigt auf, wie Ornithologen das Beste aus der Corona-Pandemie machen.

In meiner Forschung beschäftige ich mich mit der Frage, wie Kommunikation funktioniert und welche neuronalen Prozesse dabei eine Rolle spielen. Dazu studiere ich das Gesangsverhalten von Nachtigallenmännchen. Die Tiere versuchen, sich mit ihren Gesängen gegenseitig zu überbieten – meist mit dem Ziel, ihr Territorium

zu verteidigen oder ein Weibchen zu bezirzen. Je nach Alter haben die Männchen bis zu 200 verschiedene Strophen in ihrem Repertoire und können diese auch beliebig kombinieren. Dabei sind die Vögel in der Lage, ihren Gesang spontan an die Strophe eines Kontrahenten anzupassen. Mit dieser Eigenschaft ähneln sie uns Menschen. Schließlich ist es für uns kein Problem, in Gesprächen spontan zu reagieren.

Nachtigallen gehören zu den Zugvögeln. Im Frühling brüten sie in Deutschland, etwa in Brandenburg, und im Herbst fliegen sie in wärmere Gefilde – unter anderem nach Ghana. Nachdem ich ihr Gesangsverhalten bereits während der Brutsaison studiert hatte, wollte ich nun untersuchen, wie die Vögel im Winter kommunizieren. Anfang November machte ich mich also – zusammen mit der Leiterin meiner Forschungsgruppe, Daniela Vallentin, und einem weiteren Doktoranden – auf den Weg nach Accra.

Der frühe Vogel fängt den Wurm? Ungemünzt auf meinen Forschungsaufenthalt müsste das Sprichwort eher

lauten: „Die frühe Wissenschaftlerin hört die Nachtigall.“ Da die Vögel besonders in der Dämmerung aktiv sind, mussten wir oft schon um vier Uhr morgens aufbrechen, um bei Sonnenaufgang am anvisierten Ort zu sein. Meist waren unsere Ziele Nationalparks, die in normalen Zeiten von Touristen frequentiert werden, aufgrund der Corona-Pandemie aber beinahe leer waren. So konnten wir uns in aller Ruhe auf die Lauer legen.

Hält man sich in der Dämmerung in Nationalparks auf, kommen einem auch andere Tiere vor das Fernglas. So sahen wir neben allerlei farbenfrohen Vögeln beispielsweise Antilopen oder Affen; in einer Höhle war die Decke voller Fledermäuse, und einmal erblickten wir aus sicherer Entfernung eine Gruppe Krokodile. Die gefährlichste Begegnung hatten wir allerdings mit einer Schlange: Wir liefen gerade durch den Regenwald, als wir im Busch etwas rascheln hörten. Und dann sahen wir sie: eine Grüne Mamba, eine der giftigsten Schlangen Westafrikas – und gerade mal zwei Meter entfernt! Allerdings

GHANA

schien die Mamba mindestens so viel Respekt vor uns zu haben wie wir vor ihr, denn noch bevor unser Guide reagieren konnte, ergriff sie die Flucht.

Die Corona-Pandemie beeinträchtigte unseren Aufenthalt kaum, da wir an abgelegenen Orten unterwegs waren und größere Menschenansammlungen mieden. Auch in den Hotels waren wir oftmals die einzigen Gäste, weshalb sich die Aufmerksamkeit der Betreiber auf uns konzentrierte. So bekamen wir einmal ein traditionelles Trommelkonzert dargeboten, während wir fantastischen Fisch aßen.

Überhaupt war die Reise in kulinarischer Hinsicht eine Offenbarung. Besonders begeistert war ich von Kochbananen, die in ihrer Konsistenz Kartoffeln ähneln und – gekocht, gebraten oder frittiert – Bestandteil fast jeder Mahlzeit sind. Ich habe mich bereits erkundigt, wo ich in München Kochbananen kaufen kann, und habe fest vor, sie in meine Küche zu integrieren. Ansonsten gibt es in Ghana viele Suppen oder Eintöpfe, die zwar sehr lecker, aber oft auch sehr scharf sind.

Als Snack für zwischendurch findet man an jeder Ecke eine große Auswahl an frischen Früchten wie Ananas, Papaya oder Kokosnuss.

Einmal machten wir Rast in einem abgelegenen Dorf, das an eine Kakaoanlage grenzte. Die Bewohner hießen uns herzlich willkommen und ließen es sich nicht nehmen, uns die Plantage zu zeigen. Es war gerade Erntezeit, und so lernten wir, wie man die etwa 30 Zentimeter großen Kakaofrüchte öffnet, wie man die einzelnen Kakaobohnen aus dem geleeartigen Fruchtfleisch löst und dann trocknet. Es versteht sich von selbst, dass wir auch probieren durften.

Diese Begegnung steht stellvertretend für die umwerfende Gastfreundschaft, die wir während unserer Zeit in Ghana immer wieder erfahren. Neben faszinierenden Landschaften, einer schillernden Flora und Fauna und zahlreichen kulinarischen Highlights gibt es noch viele andere gute Gründe, dem Land einen Besuch abzustatten. Für mich jedenfalls steht fest: Ich werde so bald wie möglich zurückkommen.

FOTO: DR. SUSANNE SELTMANN/MPI FÜR ORNITHOLOGIE



Anna Proß

28, studierte Biologie an der TU Braunschweig sowie Neurobiologie und Verhalten an der FU Berlin. Dort begann sie im März 2018 ihre Promotion unter Daniela Vallentin und folgte ihrer Doktor Mutter Anfang 2019 an das Max-Planck-Institut für Ornithologie in Seewiesen. In ihrer Forschung interessiert sich die Biologin für das Gesangsverhalten von Nachtigallen und untersucht die zugrunde liegenden neuronalen Vorgänge.

EXPEDITION IN DIE ARKTIS

„Fünf Windstärken, -26 Grad Celsius, Schneefall und dichte Schneedrift. Es ist ein kalter Tag für unser Coring Team, welches heute Dutzende von Eisbohrkernen nimmt [...] Bis zur Unkenntlichkeit eingeeist kommen sie nach sieben Stunden Arbeit auf dem Eis zurück an Bord, die Wimpern schwer vom angefrorenen Eis, den Rest des Gesichts abgedeckt mit jetzt völlig vereisten Gesichtsmasken.“ In seinem Logbuch über die MOSAiC-Expedition nimmt Markus Rex den Leser mit auf eine Reise zum Nordpol. 90 Institutionen aus 20 Ländern haben sich in einer internationalen Kooperation zusammengeschlossen, um mit der Polarstern erstmals einen modernen Forschungseisbrecher ganzjährig in die zentrale Arktis zu bringen und dort Klimadaten zu sammeln. Die Expedition folgt den Spuren des Polarforschers Fridtjof Nansen, des Entdeckers der arktischen Eisdrift. Der Leser nimmt teil an der Suche nach der richtigen Scholle zum Ein-

frieren und ist auch dabei, wenn im Sturm das Eis unter donnerndem Getöse bricht und das Team unter den harschesten Bedingungen Geräte und Ausrüstung bergen muss. Die Veränderungen in den über hundert Jahren seit Nansens Reise sind dramatisch: So haben sich die durchschnittlichen Temperaturen seither um 5 bis 10 Grad Celsius erhöht, während die Dicke des Eises um etwa die Hälfte abgenommen hat. Das fantastisch erzählte Logbuch ist daher auch ein dringender Appell, den Klimawandel endlich aufzuhalten.

Christina Beck

Markus Rex
Eingefroren am Nordpol
320 Seiten, C. Bertelsmann Verlag
28,00 Euro



88

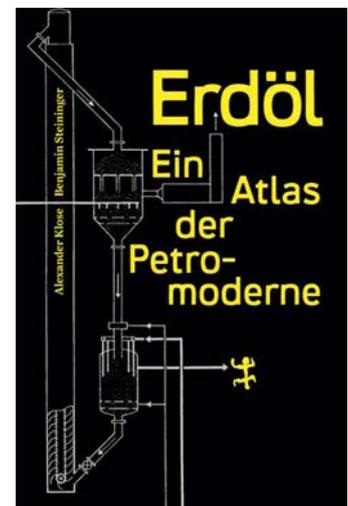
ZEITALTER DES ÖLS

Pferdepumpen, Pipelines und Plankton, Moleküle, Männlichkeit und Munition: Der Blick, den Benjamin Steininger und Alexander Klose auf das Erdöl richten, ist so weit wie die Reisen, auf die sie ihre Leser mitnehmen: Es geht tief in die Erde, hinauf ins Weltall, 150 Millionen Jahre zurück und in eine Welt, in der Daten das neue Öl sind, nach Patagonien und Aserbaidschan, in die USA, den Iran und nach Österreich. Kurz: Es geht um all die Facetten, die es angesichts eines – vielleicht? – anstehenden Abschieds zu betrachten gilt. „Seit zwei Jahrhunderten verschieben fossile Rohstoffe unser Verständnis von Wachstum, von Freiheit, unser Begehren“, erklärte Steininger 2020 gegenüber *Max Planck Forschung*, und: „Ein Haus, in dem man sich 200 Jahre eingerichtet hat, kann man nicht einfach so verlassen. Es braucht eine Inventur.“ Diese Inventur hat der Postdoktorand am Max-Planck-Institut für Wissenschaftsgeschichte nun vorgelegt, zusammen mit Alexander Klose, mit dem er ein Forschungskollektiv namens Beauty of Oil betreibt. Ihr „Atlas der Petromoderne“, so der Untertitel, trägt in 43 Kapiteln und in Wort wie Bild vieles von dem zusammen, was die Kulturwissenschaftler über Jahre in aller Welt und bei inter-

disziplinären Recherchen gefunden haben. Eine Epoche, von der sehr deutlich wird: Sie hat die Welt geprägt wie vielleicht keine andere.

Jeannette Goddar

Benjamin Steininger, Alexander Klose
Erdöl
324 Seiten, Matthes & Seitz Verlag
26,00 Euro



NEU ERSCHIENEN



GEFÜHLE SCHREIBEN GESCHICHTE

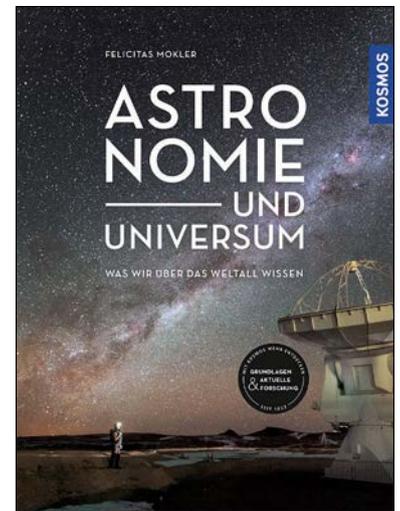
Wenn es um die Geschichte Deutschlands geht, denken die meisten wohl an einschneidende Ereignisse und wichtige Persönlichkeiten. Kaum jemand wird dabei Gefühle in den Blick nehmen, scheinen sie doch gegenüber den harten Fakten zu weich, zu individuell, zu wenig greifbar. Das neue Buch von Ute Frevert belehrt uns eines Besseren. Sehr anschaulich zeigt die Direktorin am Max-Planck-Institut für Bildungsforschung darin, dass Gefühle keinesfalls singulär und subjektiv sind, sondern sich in der Gemeinschaft synchronisieren. Gefühle unterliegen gesellschaftlichen Einflüssen, sie verändern sich mit Ort und Zeit. Zugleich gestalten sie menschliche Beziehungen, schaffen Zusammengehörigkeit oder schließen aus, entscheiden über Bedeutung und Bedeutungslosigkeit. Deswegen nutzt die Politik seit jeher Gefühle und versucht sie zu steuern – selbst in unserer demokratischen Gesellschaft. All das legt Frevert anhand von 20 Gefühlen von A bis Z, von Angst bis Zuneigung dar, und das außerordentlich lebendig, spannend und oft auch unterhaltsam. Einfache Bürgerinnen und Bürger kommen ebenso zu Wort wie Schriftstellerinnen, Philosophen, Politikerinnen, Richter, Journalistinnen und Aktivisten. Ute Freverts Betrachtungen beginnen Ende des 19. Jahrhunderts und führen bis zur gegenwärtigen Corona-Krise – ein Buch, das die Augen öffnet für die Vergangenheit und ebenso für unsere Zeit.

Mechthild Zimmermann

Ute Frevert
Mächtige Gefühle
496 Seiten, S. Fischer Verlag
28,00 Euro

BEGLEITER DURCHS UNIVERSUM

Immer wieder beschwören Fachleute, dass wir in einem „Goldenen Zeitalter der Astronomie“ leben: Riesenteleskope spähen mit nie zuvor gekannter Sehkraft in die Weiten des Weltalls, Hightech-Satelliten mustern das Firmament, Raumsonden erkunden Planeten und Asteroiden aus der Nähe. Entsprechend reich fällt die wissenschaftliche Beute aus: So gingen vor wenigen Jahren Gravitationswellen ins Netz und gelang das erste Bild eines schwarzen Lochs. Für Laien ist es nicht einfach, mit der Flut von Erkenntnissen Schritt zu halten und Entdeckungen einzuordnen. Hier bietet das Buch von Felicitas Mokler kompetent Hilfestellung. Die Astrophysikerin und freie Journalistin ist ganz nah dran an der Forschung und bietet auf mehr als 200 Seiten einen verständlichen Überblick über das „was wir über das Weltall wissen“, wie es im Untertitel heißt. Bei ihrer Dar-



stellung wählt die Autorin den klassischen Weg, beschreibt zunächst Instrumente und Beobachtungsbereiche, gibt Einblicke in das Sonnensystem, beschäftigt sich mit Sternen, Galaxien und kehrt schließlich an die Wurzel allen Seins zurück – zum Urknall, mit dem vor 13,8 Milliarden Jahren das All auf die Welt kam. Mokler hat exakt recherchiert, schreibt gut verständlich und stets auf der Höhe der Forschung. Ein weiteres Plus ist das hervorragend ausgewählte Bildmaterial; sowohl die Fotos als auch die Illustrationen tragen ein Gutteil zu dem gelungenen Begleiter durchs Universum bei.

Helmut Hornung

Felicitas Mokler
Astronomie und Universum
224 Seiten, Franckh-Kosmos Verlag
30,00 Euro



FÜNF FRAGEN

ZU KÜNSTLICHER INTELLIGENZ IN DER MEDIKAMENTENFORSCHUNG

AN PETER NUSSBAUMER

90

Proteine bestehen aus einer Kette verschiedener Aminosäuren, die sich zu komplizierten dreidimensionalen Strukturen aufrollen können. Die Software AlphaFold der Google-Tochter DeepMind kann diese 3D-Struktur anhand der Abfolge der Aminosäuren sehr genau vorhersagen.

Herr Nussbaumer, wird die neue Software die Entwicklung neuer Medikamente revolutionieren?

PETER NUSSBAUMER Für die Analyse von Proteinen ist das Programm sicher ein Meilenstein, keine Frage. Zur Entwicklung neuer Wirkstoffe tragen jedoch viele verschiedene Forschungsdisziplinen bei. Ein technischer Fortschritt auf einem Teilgebiet kommt natürlich dem gesamten Entwicklungsprozess zugute, er ist aber nur ein Teil des Puzzles. Eine Revolution erwarte ich also nicht.

Wie könnte denn AlphaFold die Entwicklung neuer Medikamente voranbringen?

Wir könnten mit AlphaFold beispielsweise eine neue räumliche Struktur eines Proteins erhalten, das an einer bestimmten Erkrankung beteiligt ist. Aus einer strukturellen Ähnlichkeit mit einem Protein mit bekannter Funktion ließe sich dann möglicherweise auch auf die Rolle des anderen Proteins schließen. Wir müssen jedoch auch daran

denken, was AlphaFold nicht kann: Es kann beispielsweise nicht vorhersagen, wie sich Proteine zeitlich verändern, wie ihre Struktur durch die Bindung anderer Proteine oder Wirkstoffe beeinflusst wird und wie die Seitenketten orientiert sind. Und was für die Entwicklung neuer Wirkstoffe besonders entscheidend ist: Die Software verrät uns auch nicht, wo und wie ein Molekül an ein Protein bindet.

Welche Rolle spielt künstliche Intelligenz heute schon bei der Entwicklung neuer Medikamente?

Die Antwort auf die Frage hängt auch davon ab, wie man künstliche Intelligenz definiert. Die Rechenkraft moderner Computer, neuronale Netzwerke und maschinelles Lernen helfen uns schon lange in der Wirkstoffforschung. Wir nennen das auch „Computerchemie“. Beispiele sind etwa der Strukturvergleich eines bekannten mit einem unbekanntem Protein oder die Nutzung und Auswertung der riesigen Datenmengen, die in der präklinischen Forschung anfallen. Auch für die Interpretation von Genaktivitätsmustern und die Vorhersage von Zielproteinen für die Medikamentenentwicklung ist die Computerchemie sehr nützlich. Künstliche Intelligenz wird künftig sicher an Bedeutung zunehmen, aber man darf davon keine Wunder erwarten.

Wird AlphaFold auch beim LDC zum Einsatz kommen?

Ich weiß nicht, ob und zu welchem Preis DeepMind die Software zur Verfügung stellen will. Ich vermute aber, dass zum jetzigen Zeitpunkt die Kosten den Nutzen für uns übersteigen würden. Vielleicht wird der Algorithmus ja auch offengelegt und damit zur „Open source“-Software.

Halten Sie es für möglich, dass DeepMind in die Medikamentenentwicklung einsteigen könnte?

Ich kenne die Pläne von Google nicht, aber zur Entwicklung neuer Medikamente gehört, wie gesagt, mehr als ein ausgeklügeltes Programm zur 3D-Analyse von Proteinen. Unsere Daten würde ich an das Unternehmen trotzdem nicht weitergeben. Für mich stellt sich im Moment eher die Frage, ob DeepMind aus der Strukturanalyse künftig einen kostenpflichtigen Service machen wird. Bislang haben Forschungsgruppen die Strukturdaten aus ihren Studien kostenlos zur Verfügung gestellt.

Interview: Harald Rösch

Peter Nussbaumer ist Geschäftsführer des Lead Discovery Center in Dortmund (LDC), einer Ausgründung von Max-Planck-Innovation zur Entwicklung neuer Medikamente.

ILLUSTRATION: SOPHIE KETTERER FÜR MPG

- 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; -1756)
 Helmut Hornung (Astronomie; -1404)

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

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

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

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

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

Anzeigenleitung
 Beatrice Rieck
 Vogel Druck & Medienservice GmbH
 Leibnizstraße 5
 97204 Höchberg
 0931 4600-2721
 beatrice.rieck@vogel-druck.de

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

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

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

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



MAX PLANCK
GESELLSCHAFT

