

Ausgabe 02 | 2020

MAX PLANCK

Forschung

WISSENSCHAFTSGESCHICHTE

Zum Artenschutz freigegeben

ARCHÄOGENETIK

Die bitteren Spuren der Sklaverei

EISENFORSCHUNG

Legende aus dem 3D-Drucker



GEHT INS OHR



COVER: FOTO: ADOBE STOCK; LINKS: FOTO: UNSPLASH / JASON ROSEWELL

Aufnahme läuft. Seit es brauchbare Tontechnik gibt, können wir uns nach Belieben beschallen lassen – und das so gut wie überall. Wie eine aktuelle Umfrage belegt, lauschen inzwischen fast zwei Drittel der Deutschen mehrmals pro Woche über Kopfhörer Musik, Podcasts oder Radio. Die Forschung wiederum kann mithilfe spezieller Technologien nachspüren, welche Wirkung Schallwellen entfalten, und sie sogar nutzbar machen.

EDITORIAL

Liebe Leserin, lieber Leser

Wer denkt bei „Bad Guy“ von Billie Eilish oder Beethovens 9. Sinfonie schon an Physik oder Neurobiologie? Vielmehr lassen wir uns von den Tönen tragen, von den Stimmen emotional berühren, von den Rhythmen mitreißen. Aber bevor das passiert, müssen wir erst einmal Schall wahrnehmen. Dieser dringt in Form von Wellen ans Ohr, wird in elektrische Signale umgewandelt und danach in Schaltstellen im Gehirn auseinandergefummelt. Zugegeben, dieser letzte Satz ist etwas salopp. Aber damit beschreibt einer der Forscher in unserem „Fokus“ den Kern seiner Arbeit – und die ist alles andere als trivial: Was passiert eigentlich in unserem Denkorgan, wenn es Schall verarbeitet? Warum empfinden wir manche Töne oder Geräusche als angenehm, andere nicht? Und was steckt hinter dem Erfolg von Hits wie „Yesterday“?

Von dem melancholischen und sanften Song der Beatles in die harte Realität des Tierreichs. Wenn die Dämmerung hereinbricht, beginnt das große Jagen. Fledermäuse schießen durch die Lüfte auf der Suche nach Beute. Mit Ultraschall orten die Tiere selbst bei völliger Dunkelheit ihre angepeilten Opfer. Damit ihnen Nachtfalter und Heuschrecken nicht entkommen, haben sie ausgeklügelte Techniken entwickelt. Aber die Gejagten wissen sich zu wehren.

Apropos Ultraschall: Seine praktische Anwendung erlebt man am eigenen Leib, etwa bei einer Untersuchung der Schilddrüse. Aber steckt noch mehr in dem Medium? Tatsächlich nutzen Wissenschaftler Ultraschall, um Teilchen zu dreidimensionalen Strukturen zu verbinden. Solche akustischen Hologramme sind jedoch keine Spielerei. Mit ihnen könnten sich eines Tages künstliche Tumore oder Organoide für Tests von medizinischen Wirkstoffen herstellen lassen. Dies würde vielleicht auch die Zahl der Tierversuche reduzieren.

Wir wünschen spannende Lektüre mit überraschenden Einsichten!

Ihr Redaktionsteam



40



50



66



80

FOTOS: AXEL GRIESCH (LINKS OBEN); KATHARINA DUBNO (RECHTS OBEN); CRISTINA GOMES/TAI CHIMPANZEE PROJECT (LINKS UNTEN); BIGTUNAONLINE / ALAMY STOCK FOTO (RECHTS UNTEN)

40 | GEHÖRT

Mit moderner Technik spüren Forscher die Ultraschalllaute von Fledermäusen auf.

50 | GEKÄMPFT

Mariela Morales Antoniazzi setzt sich für die Menschen in Lateinamerika ein.

66 | GEWECHSELT

Manche Viren können von Schimpansen auf Menschen überspringen.

80 | GEWELLT

Damaszener Stahl wird wegen seiner Musterung gern zur Zierde verwendet.

03 | EDITORIAL

06 | ORTE DER FORSCHUNG

in der chilenischen Atacamawüste

08 | KURZ NOTIERT

18 | ZUR SACHE

Überleben im Anthropozän

Der Mensch hat sich die Erde untertan gemacht – und zwar in einem Ausmaß, das unsere Lebensgrundlagen bedroht. Für den Weg in dieses neue Zeitalter hat die Entwicklung wissenschaftlich-technischen Wissens eine zentrale Rolle gespielt.

IM FOKUS

Geht ins Ohr

24 | Schall nimmt Gestalt an

Winzige Teilchen mithilfe von Ultraschall zu manipulieren oder gar zu beliebigen Mustern zu arrangieren, das gelingt mit der Methode der akustischen Holografie. Physiker arbeiten schon an deren Anwendung in der Medizin.

32 | Soundcheck

Operngesang. Vogelgezwitscher. Lautes Schreien. Eine nicht gestimmte Geige. Manche Töne empfinden wir instinktiv als angenehm, andere als unangenehm. Doch wie entscheiden wir, ob etwas gut oder schlecht klingt?

40 | Mit der richtigen Peilung

Zwei Schatten umschwirren sich in der Abenddämmerung: In einem wilden Tanz von Jäger und Beute jagt eine Fledermaus einen Nachtfalter. Wie aber nehmen sich die Tiere mithilfe von Schall gegenseitig wahr?

48 | INFOGRAFIK

Wettlauf mit dem Virus

50 | BESUCH BEI

Mariela Morales Antoniazzi
Streiterin für die Menschenrechte

WISSEN AUS

58 | Zum Artenschutz freigegeben

Bären, Wölfe und Steinböcke galten den Menschen in Europa als Nahrungsquelle oder Trophäe und wurden bis zur Ausrottung gejagt. Doch das Verhältnis zu den ikonischen Säugetieren hat sich im Lauf der vergangenen Jahrhunderte geändert.

66 | Viren aus der Wildnis

Manche Krankheitserreger können von Schimpansen auf Menschen überspringen und diesen gefährlich werden – oder umgekehrt.

74 | Die bitteren Spuren der Sklaverei

Wissenschaftlern ist es gelungen, drei Männern aus Afrika, die im 16. Jahrhundert in Mexiko-Stadt lebten, einen Teil ihrer Geschichte wiederzugeben.

78 | „Schärfere Gesetze sind ein Zeichen von Hilflosigkeit“

Interview mit Tatjana Hörnle über die Forderung nach härteren Strafen bei Kindesmissbrauch.

80 | Legende aus dem 3D-Drucker

Im Altertum war Damaszener Stahl das Material der Wahl für Schwertklingen. Heute lässt sich eine Art dieses Verbundwerkstoffs mit einer ganz neuen Technik herstellen.

86 | POST AUS...

Santiago de Chile, Chile

88 | NEU ERSCIENEN

90 | FÜNF FRAGEN

zu Überdüngung und Artenvielfalt

91 | IMPRESSUM

5

TECHMAX

Drucken in drei Dimensionen



*DEM HIMMEL NAHE:
DAS VERY LARGE TELESCOPE
IN DER CHILENISCHEN
ATACAMAWÜSTE.*

6

FOTO: M. CLARO/ESO



ORTE DER FORSCHUNG



7

Sie heißen Antu, Kueyen, Melipal und Yepun – in der Sprache des indigenen Volkes der Mapuche sind dies die Bezeichnungen für Sonne, Mond, Kreuz des Südens und Venus. Die vier bilden das Kernstück des modernsten Observatoriums der Welt, das in 2635 Meter Höhe auf dem Cerro Paranal inmitten der chilenischen Atacamawüste steht. Die Astronomen gehen hier mit den je 8,2 Meter durchmessenden Hauptspiegeln und den vier beweglichen 1,8-Meter-Hilfsfernrohren auf Exkursion in die Tiefen des Weltalls. Dieses Very Large Telescope der Europäischen Südsternwarte lässt sich zu einem Interferometer zusammenschalten, welches Himmelsaufnahmen mit einer Winkelauflösung von tausendstel Bogensekunden liefert. Damit könnte man etwa die beiden Frontscheinwerfer eines Autos auf dem Mond getrennt voneinander sehen.

Das Teleskop ist aber nur so gut wie seine Instrumente. An einigen haben Max-Planck-Wissenschaftler mitgewirkt, etwa an den Interferometern Gravity und Matisse, dem Spektrografen Spifi oder dem Planetenjäger Sphere. Kürzlich gelang Forschenden unter der Leitung des Max-Planck-Instituts für extraterrestrische Physik mit der Hightech-Optik ein scharfer Blick ins Herz der Milchstraße. Dort sahen sie, dass ein Stern das zentrale schwarze Loch nicht auf einer geschlossenen Bahn umläuft, sondern eine offene Kurve in Form einer Rosette beschreibt. Albert Einstein hatte diesen Effekt vor mehr als hundert Jahren vorausgesagt.

NEUES TEAM, NEUE IDEEN

Im Juli 2020 haben in der Max-Planck-Gesellschaft eine Vizepräsidentin und zwei Vizepräsidenten ihr Amt neu angetreten. Asifa Akhtar, Direktorin am Max-Planck-Institut für Epigenetik und Immunbiologie in Freiburg, ist die erste Vizepräsidentin der Biologisch-Medizinischen Sektion. Die gebürtige Pakistanerin will sich im Bereich Internationalisierung engagieren und ist Ansprechpartnerin für die Max Planck Schools. Auch Gleichstellung und Diversität sind ihr ein Anliegen. Vizepräsident für die Geistes-, Sozial- und Human-

wissenschaftliche Sektion ist Ulman Lindenberger, Direktor am Max-Planck-Institut für Bildungsforschung in Berlin. In dieser Position übernimmt er die wissenschaftliche Geschäftsführung der Minerva Stiftung zur Förderung der wissenschaftlichen Zusammenarbeit mit Israel. Darüber hinaus möchte Lindenberger dem Berufungsprozess in der Max-Planck-Gesellschaft neue Impulse geben. Klaus Blaum, Direktor am Max-Planck-Institut für Kernphysik in Heidelberg, vertritt die Chemisch-Physikalisch-Technische

Sektion im Vizepräsidium. In seinen Bereich fallen der Technologietransfer sowie das Cyber Valley, aber auch das Thema Nachhaltigkeit liegt ihm sehr am Herzen. Außerdem möchte Blaum den Austausch mit der Chinese Academy of Sciences verbessern. Als externes Mitglied des Verwaltungsrats hat Nicola Leibinger-Kammüller, Vorsitzende der Geschäftsführung der Firma Trumpf, ihr Amt angetreten.

www.mpg.de/15105276



FOTOS: MARCUS ROCKOFF, DAVID AUSSERHOFFER, STEFANIE AUMILLER (VON LINKS NACH RECHTS)

Das neue Team um Max-Planck-Präsident Martin Stratmann: Asifa Akhtar, Ulman Lindenberger und Klaus Blaum (von links).

OPFER IDENTIFIZIEREN

In der NS-Zeit haben die Vorgängereinstitutionen mehrerer Max-Planck-Institute die sterblichen Überreste von Opfern des Naziregimes für ihre Forschung eingesetzt. Auch nach dem Zweiten Weltkrieg haben die Institute solche Präparate, vorwiegend Hirnschnitte, weiterhin aufbewahrt und zum Teil auch genutzt, bis die Max-Planck-Gesellschaft sie im Jahr 1990 bestatten ließ. 2015 und 2016 wurden an den Max-Planck-Instituten für

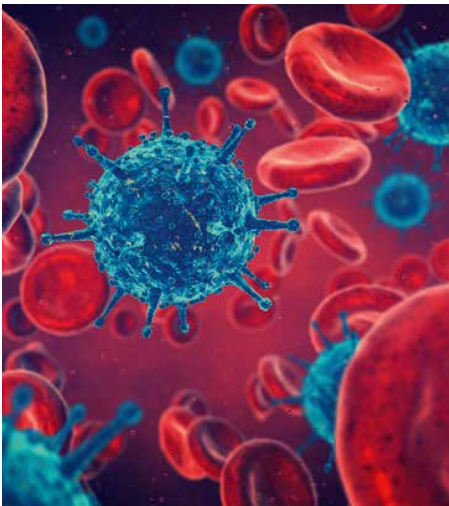
Psychiatrie und für Hirnforschung noch einmal Präparate entdeckt. Max-Planck-Präsident Martin Stratmann nahm diese Funde zum Anlass, eine externe Expertenkommission einzusetzen, um die Identität und Herkunft aller Opfer, von denen sterbliche Überreste gefunden wurden, zu untersuchen. In einem Zwischenbericht hat die Kommission im Frühjahr 2020 erste Ergebnisse vorgelegt: In mehr als tausend Fällen ließen sich die

Namen der Getöteten eruieren. Ein Teil von ihnen hatte in der Heil- und Pflegeanstalt Eglfing-Haar bei München gelebt. Wegen ihrer körperlichen oder psychischen Behinderung waren sie von den Nationalsozialisten umgebracht worden. Weitere Opfer stammten aus den besetzten polnischen Gebieten, waren Kriegsgefangene oder wurden von der sogenannten NS-Volksjustiz hingerichtet.

www.mpg.de/14472459

KURZ NOTIERT

BILD: NOBEASTOFFERCE/ADOBE STOCK



Angriff auf das Immunsystem:
HI-Viren (blau) werden unter anderem
über Blut übertragen.

MIT DER GENSCHERE GEGEN HIV

Es könnte die erste Behandlung werden, die das HI-Virus aus dem Körper dauerhaft beseitigt – aktuelle Medikamente halten es dort dagegen nur in Schach. Ein Team vom Hamburger Heinrich-Pette-Institut – Leibniz-Institut für Experimentelle Virologie (HPI) und des Dresdner Max-Planck-Instituts für molekulare Zellbiologie und Genetik hat mit dem Enzym Brecl eine Genschere entwickelt, die das Erbgut des Aids-Erregers aus dem Genom der infizierten Zellen herausschneidet und so das Virus entfernt. Das Hamburger Biotech-Start-up Provirex hat diesen Therapieansatz in Form einer Stammzellbehandlung zur Anwendungsreife gebracht. Das HPI und das Universitätsklinikum Hamburg-Eppendorf können daher nun erste klinische Studien mit der Therapie an acht Patienten vorbereiten.

www.mpg.de/14743588

AUSGEZEICHNET ★

VOLKER SPRINGEL

Für seine wertvollen Beiträge zu Simulationen des Universums erhält Volker Springel, Direktor am Max-Planck-Institut für Astrophysik in Garching, den Gruber-Kosmologiepreis 2020. Springel teilt sich die Prämie in Höhe von 500 000 Dollar mit Lars Hernquist vom Harvard-Smithsonian Center for Astrophysics. Die beiden Forscher haben Methoden entwickelt, um Theorien über die Strukturbildung im Universum zu testen, und zwar in Größenbereichen von Sternen über Galaxien bis hin zum Weltall als Ganzes. Dazu entwarfen Springel und Hernquist numerische Algorithmen und frei verfügbare Codes, die mittlerweile von vielen anderen Forschenden genutzt werden.



FOTO: HEIDELBERGER INSTITUT FÜR THEORETISCHE STUDIEN (HTS)

9

FRIEDRICH BONHOEFFER

Mit dem Gruber-Preis für Neurowissenschaften 2020 wird Friedrich Bonhoeffer, emeritierter Direktor am Max-Planck-Institut für Entwicklungsbiologie in Tübingen geehrt. Bonhoeffer teilt sich die Auszeichnung mit Corey Goodman von der University of California in San Francisco und Marc Tessier-Lavigne von der Stanford University, für ihre gemeinsame Arbeit über molekulare Mechanismen im zentralen Nervensystem. Die Entdeckungen der drei Forscher haben das Verständnis über die Bildung neuronaler Netzwerke im Gehirn grundlegend verändert und helfen, neurologische und psychiatrische Erkrankungen sowie die Erholung des Nervensystems nach Verletzungen besser zu verstehen.



FOTO: BERTHOLD STEINHILBER

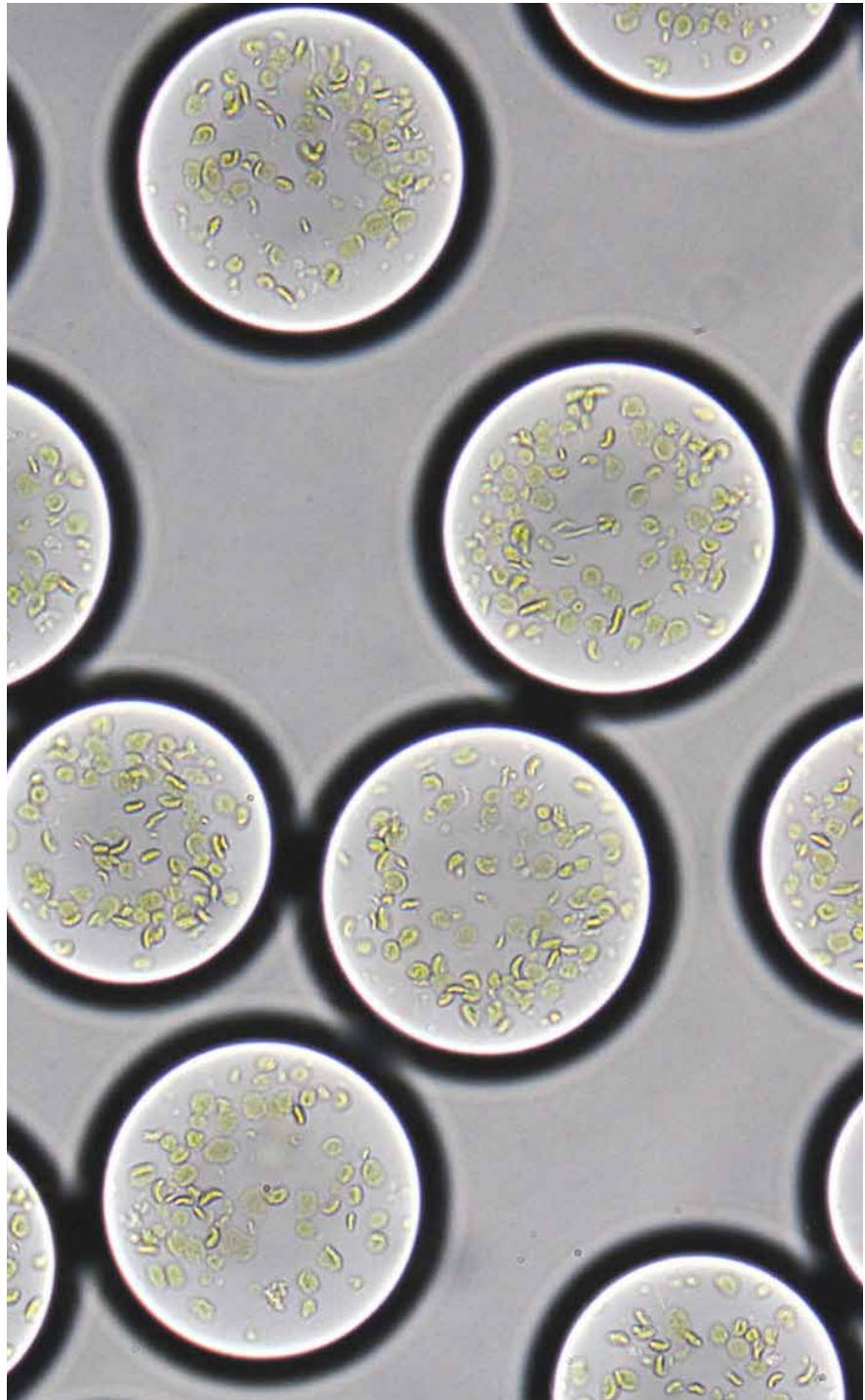
FOTO- SYNTHESE IM TROPFEN

Pflanzen beherrschen sie bereits seit Jahrmillionen, Menschen möglicherweise bald ebenfalls: die Fotosynthese, also die Umwandlung von Kohlendioxid in nutzbare Kohlenstoffverbindungen mithilfe von Sonnenenergie. Im Rahmen des interdisziplinären Forschungsnetzwerks MaxSynBio haben Forschende des Instituts für terrestrische Mikrobiologie in Marburg nun winzige Kompartimente entwickelt, in denen – ähnlich wie in den natürlichen Chloroplasten der Pflanzen – Sonnenenergie in chemische Energie umgewandelt wird. Dafür haben sie zunächst die Chloroplasten-Membran aus Spinatpflanzen isoliert und den darauf befindlichen Fotosynthese-Apparat, der die Energie des Lichts in chemische Energie umwandelt, mit einem selbst entwickelten Reaktionsweg gekoppelt. Dieser aus 18 Enzymen bestehende CETCh-Zyklus nutzt die Energie, um aus Kohlendioxid Kohlenhydrate aufzubauen, und zwar effizienter als die natürliche Fotosynthese. Zusammen mit Kollegen aus Frankreich haben die Max-Planck-Wissenschaftler eine Methode entwickelt, mit der sie ihren Stoffwechselweg in winzige Tropfen einschließen können. Auf diese Weise können sie Tausende standardisierter Kompartimente produzieren oder einzelne Tröpfchen individuell mit unterschiedlichen Eigenschaften versehen. Schon jetzt binden die künstlichen Chloroplasten Kohlendioxid 100-mal schneller als bisherige Systeme. Ein weiterer Vorteil: Diese Chloroplasten beschränken sich ausschließlich auf die Komponenten, die für den Ablauf der Fotosynthese unbedingt notwendig sind. Gleichzeitig sind sie aber nicht auf Enzyme aus der Natur angewiesen. Mit den neuen künstlichen Chloroplasten können die Forschenden also künftig Reaktionswege testen, die in der Natur nicht vorkommen. Solche lebensechten Systeme sollen in vielen technischen Berei-

chen angewendet werden, um nahezu beliebige Stoffe zu produzieren – zum Beispiel in der Materialforschung, der Biotechnologie und der Medizin. Außerdem könnten sie dazu beitragen, das Kohlendioxid in der Luft zu nutzen und das Treibhausgas als Rohstoffquelle der Zukunft zu erschließen.

www.mpg.de/14786713

BILD: TOBIAS ERB/MPI FÜR TERRESTISCHE MIKROBIOLOGIE



Halbsynthetische Chloroplasten: Die 0,1 Millimeter großen Tröpfchen enthalten die Membranen natürlicher Chloroplasten. Zusammen mit einem künstlichen Stoffwechselzyklus können sie mittels Sonnenenergie Kohlendioxid fixieren.



DIE SORGE UMS KLOPAPIER

Während der rasanten Ausbreitung von Covid-19 in Europa und Nordamerika im März 2020 haben manche Menschen große Mengen bestimmter Waren gekauft. Bei Toilettenpapier verzeichneten einige Hersteller zum Beispiel einen Umsatzanstieg um bis zu 700 Prozent. In einer Studie mit mehr als tausend Erwachsenen aus 35 Ländern haben Forschende des Max-Planck-Instituts für evolutionäre Anthropologie in Leipzig Ende März 2020 mögliche Verbindungen zwischen der Persönlichkeit und dem Kauf dieses Hygieneartikels untersucht. Darüber hinaus analysierten sie das Alter, das Bedrohungsgefühl und das Quarantäneverhalten der Teilnehmenden.

Die Ergebnisse zeigen, dass ängstlichere Menschen, die sich stärker durch die Pandemie bedroht fühlten, mehr Toilettenpapier horteten. Ähnlich wirkten sich Persönlichkeitsmerkmale wie Fleiß, Perfektionismus und Vorsicht auf das Kaufverhalten aus. Darüber hinaus hamsterten ältere Menschen mehr Toilettenpapier als jüngere und Amerikaner mehr als Europäer. Mit ihren Ergebnissen können die Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler das unterschiedliche Kaufverhalten allerdings nur teilweise erklären. Es muss also noch bislang unentdeckte Faktoren geben, welche die Sorge um das Toilettenpapier erklären.

www.mpg.de/14938948

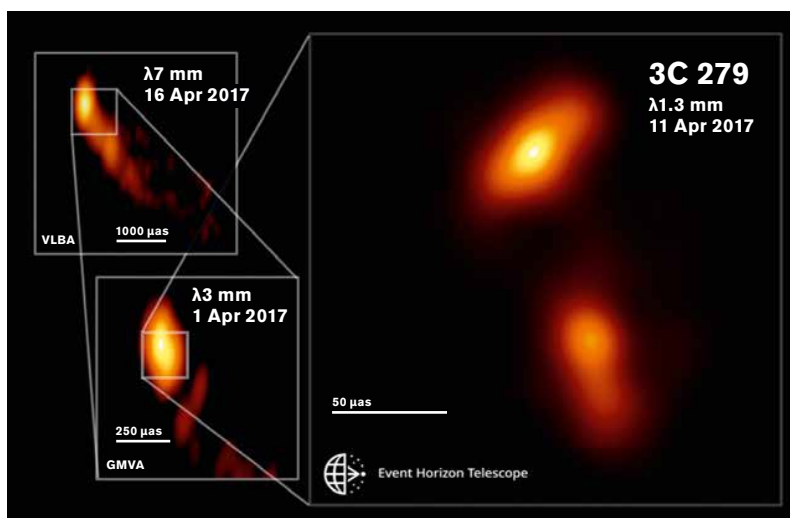
IM MASCHINEN- RAUM EINES QUASARS

Das erste Bild eines schwarzen Lochs, das dem Event Horizon Telescope (EHT) gelungen war, gilt als wissenschaftliche Sensation. Ziemlich genau ein Jahr später präsentierten die Forschenden dieser Kooperation die Aufnahmen eines sogenannten Jets, der aus dem schwarzen Loch im Zentrum des Quasars 3C 279 herausstrahlt. In bisher unerreichter Schärfe ist ein Strahl aus ionisiertem Gas zu sehen, den das Massemonster nahezu mit Lichtgeschwindigkeit ins All spuckt. Das internationale Team um Jae-Young Kim vom Bonner Max-Planck-Institut für Radioastronomie untersuchte die Gestalt des Plasmastrahls nahe seiner Basis, wo vermutlich hochenergetische und variable Gammastrahlung entsteht. Die im EHT-Projekt verbundenen Teleskope zeigen Details, die kleiner als ein Lichtjahr sind. Damit wird es möglich, den Jet bis an die um das schwarze Loch herum erwartete Akkretionsscheibe zu verfolgen und die Wechselwirkung zwischen Scheibe und Jet zu beobachten. Dabei erscheint der normalerweise gerade verlaufende Jet an seiner Basis verdrillt. Und zum ersten Mal überhaupt werden Strukturen quer zur Jetrichtung sichtbar, die vermutlich Teile der Akkretionsscheibe sind. Der Vergleich von Bildern, die an aufeinanderfolgenden Tagen aufgenommen wurden, zeigt deutlich, dass sich die Struktur verändert – vielleicht aufgrund des Einfalls und der Zerkleinerung von Materie sowie des Ausstoßes von Material als Jet. Ein solches Szenario kannte man bisher nur von Simulationsrechnungen.

www.mpg.de/14651902

Blick ins Herz eines Quasars: Die Aufnahmen zeigen die Jetstruktur im Zentralbereich von 3C 279 in unterschiedlichen Wellenlängen mit jeweils höherer Winkelauflösung. Vermerkt sind die Beobachtungstage, die verwendeten Teleskopnetzwerke sowie die Wellenlängen.

FOTO: J.Y. KIM (MPIFR), BOSTON UNIVERSITY BLAZAR PROGRAM, UND EVENT-HORIZON-TELESKOP-KOLLABORATION





DEN SCHWEINE-HUND ÜBERLISTEN

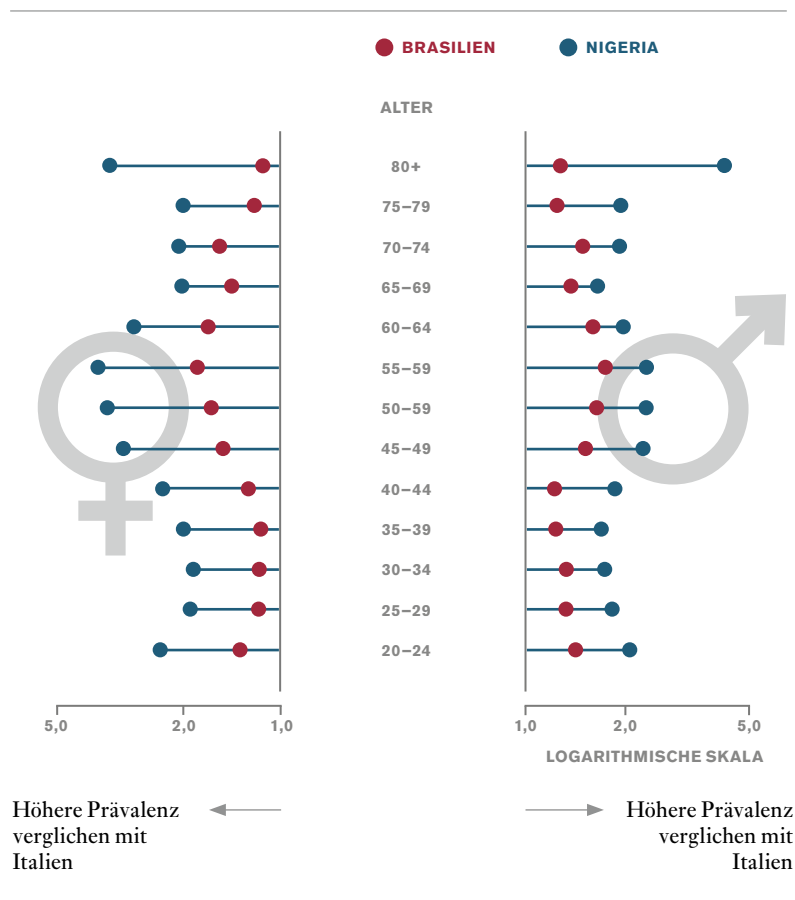
Obwohl wir es eigentlich besser wissen, entscheiden wir uns häufig für Dinge, die uns nicht guttun, und ärgern uns später darüber. Dabei brauchen wir unsere Umgebung nur etwas zu verändern, um unsere Selbstkontrolle zu stärken. Psychologisch fundierte Möglichkeiten dafür haben Forschende der Universität Helsinki und des Max-Planck-Instituts für Bildungsforschung vorgestellt. Sie raten zum Beispiel, Erinnerungen und Hinweise für sich selbst zu platzieren: zum Beispiel das Foto einer Karotte auf der Kühlschrantür oder die Joggingschuhe vor dem Bett. Außerdem hilft es, Entscheidungen einen anderen Rahmen zu geben. So können wir jede Treppe als eine Gelegenheit willkommen heißen, unsere Lebenserwartung minimal zu erhöhen. Dinge, die uns schaden, sollten wir schwerer zugänglich machen, also die Süßigkeiten und Chips ganz oben im Küchenschrank aufbewahren und dafür das Obst greifbar auf dem Tisch. Und schließlich können wir uns durch Selbstverpflichtung mittels sozialer Verträge unter Druck setzen, zum Beispiel indem wir uns zum Joggen mit anderen verabreden.

www.mpg.de/14794670

12

GRAFIK: GCO

CHRONISCHES NIERENVERSAGEN: BRASILIEN UND NIGERIA IM VERGLEICH MIT ITALIEN



Chronische Krankheiten sind auf der Südhalbkugel stärker verbreitet als in Europa. So ist der Anteil der Anfang 20-Jährigen mit chronischem Nierenversagen in Nigeria etwa doppelt so hoch wie in Italien.

WO COVID-19 AUCH JÜNGERE LEUTE GEFÄHRDET

Für Menschen in Europa gilt das Alter als einer der Risikofaktoren für einen schweren Verlauf bei einer Covid-19-Erkrankung. In vielen Ländern der Südhalbkugel ist die Bevölkerung zwar im Durchschnitt jünger, trotzdem sind die Menschen nicht weniger von der Pandemie betroffen. Ein Grund dafür: Der Anteil der Menschen im Erwerbsalter, die an Vorerkrankungen leiden, ist deutlich höher als in Europa, so eine Studie des Max-Planck-Instituts für demografische Forschung in Rostock. In Brasilien und Nigeria ist beispiels-

weise bei den Anfang 20-Jährigen der Anteil der Menschen, die an einer Herz-Kreislauf-Erkrankung leiden, mehr als doppelt so hoch wie in Italien. Chronisches Nierenversagen und die chronisch obstruktive Lungenerkrankung sind bei über 40-Jährigen in Brasilien und Nigeria deutlich stärker verbreitet als in Italien, bei Frauen in Nigeria sogar um den Faktor vier. Damit steigen auch die Risiken erheblich, die mit einer Covid-19-Erkrankung einhergehen.

www.mpg.de/15018919/0624

GRAFIK: GCO NACH MPI FÜR DEMOGRAFISCHE FORSCHUNG

BEZIEHUNGSKRISE

Weibliche Giraffen sind wählerisch: Während sie manche Artgenossinnen gerne in ihrer Nähe haben, gehen sie anderen lieber aus dem Weg. Auf diese Weise entsteht eine komplexe mehrschichtige Gesellschaft unter weiblichen Tieren. Ein internationales Team, an dem auch ein Forscher des Max-Planck-Instituts für Verhaltensbiologie in Konstanz beteiligt war, hat 540 Giraffenweibchen in Tansania über einen Zeitraum von sechs Jahren untersucht und so das bislang größte soziale Netzwerk wild lebender Säugetiere aufgedeckt. Die Ergebnisse zeigen, dass die Tiere in klar voneinander abgegrenzten sozialen Gruppen aus 60 bis 90 Weibchen leben. Diese Gruppen durchmischen sich kaum, selbst wenn sie sich alle

denselben Lebensraum teilen. Der Mensch aber stört das soziale Umfeld der Tiere: Die Forschenden haben beobachtet, dass die einzelnen Giraffen in der Nähe von Dörfern der einheimischen Massai weniger starke Bindungen untereinander ausbilden und weniger Kontakt mit Artgenossinnen haben. Die Massai tolerieren die Giraffen zwar, aber rund um die Dörfer treffen die Tiere öfter auf Vieh und Menschen. Dies könnte zur Aufsplitterung der Gruppen führen. Vor allem Weibchen mit Kälbern halten sich häufig in der Nähe von Dörfern auf – möglicherweise, weil die Jungen dort besser vor Angriffen von Löwen und Hyänen geschützt sind. Es scheint also, dass Giraffenmütter zwischen ihren sozialen Bindungen

und der Sicherheit ihrer Kälber abwägen müssen. Die Störung der Sozialstruktur könnte neben der Wilderei sowie dem Verlust von Lebensraum und Nahrungsangebot ein Grund dafür sein, dass die Population der Massai-Giraffen in den letzten Jahren um 50 Prozent zurückgegangen ist. Wie das durcheinandergeratene Sozialverhalten die Giraffenpopulation schwächt, müssen Forschende allerdings noch klären.

www.mpg.de/14901895

Massai-Giraffe im Tarangire-Ökosystem in Nordtansania. Heute leben dort nur noch halb so viele Tiere wie vor wenigen Jahren.



FOTO: DEREK LEE

MIKRO-TRANSPORTER FÜR DIE BLUTBAHN

Das Ziel, Medikamente durch die Blutbahn punktgenau zu krankem Gewebe zu bringen, rückt noch ein Stück näher. Denn ein Team des Max-Planck-Instituts für Intelligente Systeme in Stuttgart hat einen Mikroroboter entwickelt, der in Größe, Form und Bewegungsfähigkeit einem weißen Blutkörperchen gleicht. Den Mikrotransporter, der sich mit medizinischen Wirkstoffen beladen und mithilfe von Antikörpern zu krankem Gewebe dirigieren lässt, rollten die Forschenden mit magnetischen Kräften durch ein künstliches Blutgefäß und simulierten dabei auch die Bewegung gegen den Blutstrom. Die Fähigkeit, in einer Ader mit dem Blutfluss und gegen ihn zu rollen, dürfte es leichter machen, Wirkstoffe gezielt etwa zu einem Tumor zu bringen. In weiteren Tests steuerten die Mikrotransporter ganz gezielt Krebszellen an und entluden dort einen Wirkstoff.

www.mpg.de/14857003

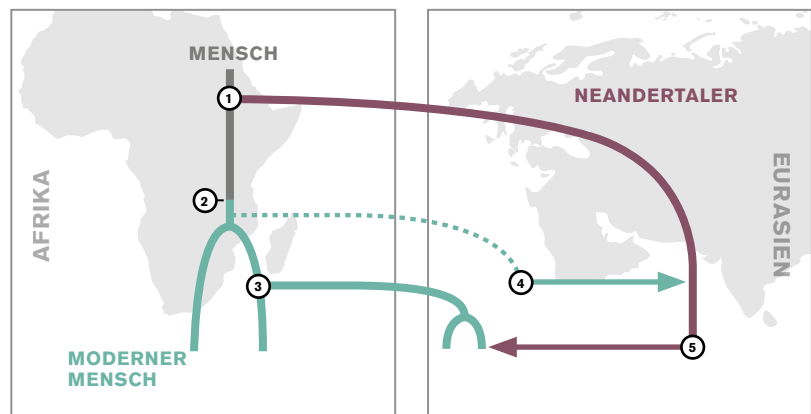
14

FRUCHTBARE BEGEGNUNG

Der moderne Mensch und der Neandertaler haben sich im Laufe der Jahrtausende mehrfach miteinander vermischt. Jeder Mensch außerhalb Afrikas trägt daher heute im Schnitt ein bis zwei Prozent Neandertaler-DNA in seinem Erbgut. Manche dieser Genvarianten brachten mehr Nach- als Vorteile und verschwanden im Laufe der Evolution wieder aus unserem Erbgut. Andere waren dagegen vorteilhaft, zum Beispiel eine Variante des Gens für den Rezeptor für Progesteron – ein Hormon, das im Menstruationszyklus und während der Schwangerschaft eine wichtige Rolle spielt. Forschende des Max-Planck-Instituts für evolutionäre Anthropologie in Leipzig und des Ka-

rolinska-Instituts in Schweden haben Biobank-Daten von mehr als 244 000 Frauen analysiert und entdeckt, dass jede dritte Europäerin das Rezeptorgen von Neandertalern geerbt hat. 29 Prozent tragen *ein* Exemplar des Neandertalergens, drei Prozent besitzen sogar *zwei* Kopien. Damit ist der Anteil der Frauen mit einer Neandertaler-Variante des Gens etwa zehnmal so hoch wie bei den meisten anderen Genen. Frauen mit dieser Variante haben mehr Progesteron-Rezeptoren in ihren Zellen. Sie reagieren daher sensibler auf das Hormon und sind besser vor Fehlgeburten und Blutungen geschützt. Darüber hinaus bringen sie mehr Kinder zur Welt.

www.mpg.de/14878846



① vor 600 000 Jahren

③ HAUPTMIGRATION vor < 65 000 Jahren

⑤ vor 47 000 bis 65 000 Jahren

② ENTSTEHUNG MODERNER MENSCH vor 300 000 Jahren

④ FRÜHE MIGRATION vor 100 000 Jahren

Moderner Mensch und Neandertaler haben sich im Laufe der Evolution mehrfach miteinander vermischt. Das hat Spuren im Erbgut hinterlassen.

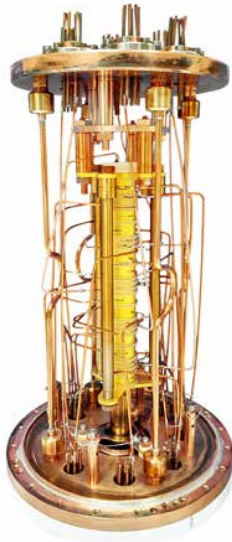
RÄTSEL UM SONNENZYKLUS ERHELMT

Die Aktivität der Sonne schwankt in einem etwa elfjährigen Rhythmus, was sich unter anderem in der Häufigkeit von Sonnenflecken zeigt. Eine vollständige magnetische Periode dauert 22 Jahre. Seit Langem rätseln die Forschenden, was hinter diesem Zyklus steckt. Er muss mit den Verhältnissen unter der „Haut“ des Sterns zusammenhängen: So reicht eine Schicht aus heißem Plasma – elektrisch leitendem Gas – von der

Oberfläche bis 200 000 Kilometer in die Tiefe. Das Plasma innerhalb dieser Konvektionszone ist ständig in Bewegung. Einem Forschungsteam unter der Leitung von Laurent Gizon vom Max-Planck-Institut für Sonnensystemforschung ist es jetzt gelungen, das bisher umfassendste Bild dieser Plasmaströme in Nord-Süd-Richtung zu zeichnen. Die Forschenden finden eine bemerkenswert einfache Strömungsgeometrie: Das

Plasma beschreibt in jeder Sonnenhemisphäre einen einzigen Umlauf, der ungefähr 22 Jahre dauert. Zudem sorgt die in Richtung Äquator verlaufende Strömung am Boden der Konvektionszone dafür, dass Flecken im Laufe des Sonnenzyklus immer näher am Äquator entstehen – was das bereits seit Langem bekannte Schmetterlingsdiagramm widerspiegelt.

www.mpg.de/15032091



Eine sehr präzise Atomwaage: Pentatrap besteht aus fünf übereinander angeordneten sogenannten Penningfallen (gelbe Säule in der Mitte). In diesen Fallen lassen sich Ionen im angeregten Quantenzustand und im Grundzustand im Vergleich messen. Um Fehler zu minimieren, werden die Ionen für Vergleichsmessungen auch zwischen verschiedenen Fallen hin- und hergeschoben.

QUANTENSPRUNG AUF DER WAAGE

Ein neuer Zugang zur Quantenwelt tut sich auf: Wenn ein Atom über den Quantensprung eines Elektrons Energie aufnimmt oder abgibt, wird es schwerer oder leichter. Ursache ist der Zusammenhang zwischen Energie und Masse, den Albert Einstein in der Formel $E = mc^2$ ausgedrückt hat. Allerdings ist dieser Effekt bei einem einzelnen Atom so klein wie der Masseunterschied, den eine zehn Milligramm leichte Ameise auf einem sechs Tonnen schweren Elefanten ausmacht. Trotzdem gelang es nun einer internationalen Kooperation unter der Führung eines Teams des Heidelberger Max-Planck-Instituts für Kernphysik, diese winzige Masseveränderung einzelner Atome zu

messen. Sie setzte dafür die Atomwaage Pentatrap ein. In dieser Falle rotieren die geladenen Atome, und zwar umso schneller, je leichter sie sind. Da sich die Umlauffrequenz sehr genau ermitteln lässt, können die Forschenden die Masse der Atome ausgesprochen präzise bestimmen. Auf diese Weise haben sie in dem seltenen Metall Rhenium einen bislang unbeobachteten Quantenzustand entdeckt, der für die zukünftige Anwendung in Atomuhren interessant sein könnte. So ermöglicht diese extrem empfindliche Atomwaage ein besseres Verständnis der komplexen Quantenwelt schwerer Atome.

www.mpg.de/14786250

WETTER- VORHERSAGEN VERSTEHEN

Viele Deutsche haben Schwierigkeiten, Wetterrisiken richtig einzuschätzen. Das ist das Ergebnis einer repräsentativen Umfrage des Max-Planck-Instituts für Bildungsforschung und des Hans-Ertel-Zentrums für Wetterforschung. Gut tausend Deutsche im Alter zwischen 14 und 93 Jahren beantworteten Faktenfragen rund um das Wetter und dessen Auswirkungen. Ein großer Teil der Befragten schätzte Risiken falsch ein. So glaubten zum Beispiel 44 Prozent, dass Bodenfrost, und damit Glätte auf Straßen und Gehwegen, erst bei einer Lufttemperatur von 0 Grad Celsius oder darunter möglich ist – eine Fehleinschätzung, die im Straßenverkehr gefährlich werden kann. Weiter nahmen zwei Drittel fälschlicherweise an, dass höhere Temperaturen mit höherer UV-Strahlung einhergehen. Auch bei ei-

nem drohenden Gewitter würden sich viele womöglich nicht rechtzeitig in Sicherheit bringen: Lediglich jeder Fünfte konnte korrekt angeben, dass bei 30 Sekunden Differenz zwischen Blitz und Donner ein Gewitter etwa zehn Kilometer entfernt ist. Die Angabe der Regenwahrscheinlichkeit

konnte ebenfalls nur ein Fünftel der Befragten richtig deuten. Deshalb spricht sich das Forschungsteam für neue Risikovorhersagen aus, die nicht nur angeben, wie das Wetter wird, sondern auch, was es anrichten kann.

www.mpg.de/14845459



Diese Gewitterwolke über München verheißt kräftigen Regen – das ist wohl den meisten Menschen klar. Mit dem Begriff Regenwahrscheinlichkeit können dagegen vier von fünf Deutschen nichts anfangen.

EIN HAUCH VON GOLD UND SILBER

Man könnte meinen, dass Blattgold mit seiner gerade einmal 0,1 Mikrometern Dicke schon ganz schön dünn ist. Es geht jedoch noch einige Hundert Mal dünner. Forschende des Max-Planck-Instituts für Festkörperforschung in Stuttgart haben nun gemeinsam mit Partnern in Pisa und Lund kristalline Schichten aus Gold und aus Silber erzeugt, die gerade mal aus einer einzigen Atomlage bestehen. Das Team stellte zudem fest, dass sich zweidimensionales Gold und Silber wie Halbleiter verhalten, obwohl die Edelmetalle in dreidimensionalen Strukturen Strom sehr gut leiten. Das ungewöhnliche elektrische Verhalten rührt möglicherweise daher, dass sich die geordneten Gold- und Silberschichten nur zwischen einer Unterlage aus Siliciumcarbid und Graphen, das heißt einer Lage von

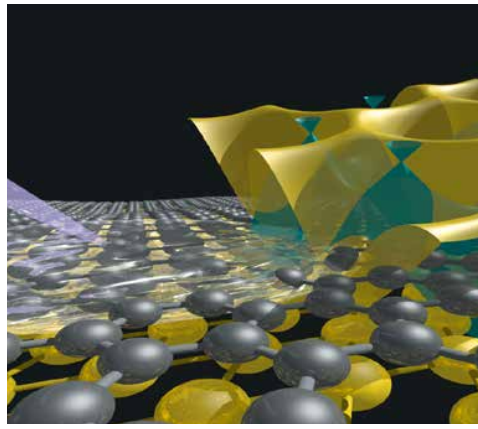


BILD: STIVEN FORTI

Sandwich mit elektronischer Würze: Die Illustration zeigt eine kristalline monoatomare Goldschicht unter Graphen (anthrazit). Darüber ist die elektronische Struktur der Goldschicht und des Graphens (grün) dargestellt. Die elektronischen Eigenschaften haben die Stuttgarter Max-Planck-Forschenden mit einem Photonenstrahl (am linken Bildrand) untersucht.

Kohlenstoffatomen, erzeugen lassen. In zweilagigen Schichten werden die Metalle wieder zu metallischen Leitern. Durch die Kombination von einlagigen und zweilagigen Edelmetallschichten könnten sich etwa kleinere Dioden konstruieren lassen, als es heute möglich ist.

www.mpg.de/14892100

HITZE IM FRÜHJAHR, DÜRRE IM SOMMER

Die Basis für die extreme Dürre im Sommer 2018 wurde bereits im Frühjahr gelegt: Da es in dieser Jahreszeit bereits sehr heiß war und Pflanzen üppig wuchsen, entzogen sie dem Boden schon zeitig viel Wasser und verstärkten dadurch die sommerliche Trockenheit vor allem in Nord- und Mitteleuropa. Den Zusammenhang zwischen warmem Frühjahr und dürrerem Sommer deckte ein internationales Team, an dem auch das Max-Planck-Institut für Biogeochemie in Jena beteiligt war, mit einer Simulation auf. Auf die Kohlenstoffbilanz der Ökosysteme wirkte sich die besondere klimatische Konstellation regional und abhängig von der jeweiligen Vegetation unterschiedlich aus. Mit dem Klimawandel wird das Risiko für Dürren ansteigen. Bewusste Entscheidungen, welche Pflanzen wo wachsen sollen, könnten Dürren und ihre Folgen abschwächen.

www.mpg.de/14940757

16

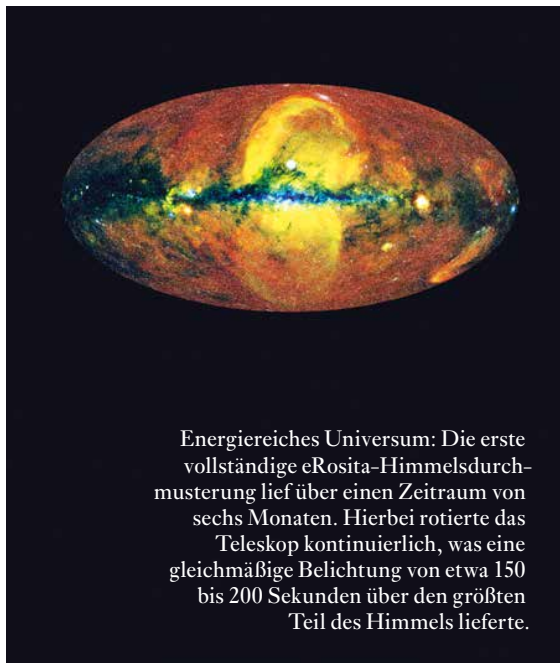


BILD: JEREMY SANDERS, HERMANN BRUNNER UND DAS ESASS-TEAM (MPE); EUGENE CHURAZOV, MARAT GILFANOV (IM NAMEN VON IKI)

Energereiches Universum: Die erste vollständige eRosita-Himmelsdurchmusterung lief über einen Zeitraum von sechs Monaten. Hierbei rotierte das Teleskop kontinuierlich, was eine gleichmäßige Belichtung von etwa 150 bis 200 Sekunden über den größten Teil des Himmels lieferte.

DER TIEFSTE BLICK IN DEN RÖNTGENHIMMEL

Nach 182 Tagen hat das Röntgenteleskop eRosita seine erste vollständige Durchmusterung des Himmels abgeschlossen. Die daraus generierte neue Karte des heißen, energiereichen Weltalls enthält mehr als eine Million Objekte – damit verdoppelt sich in etwa die Zahl der bekannten Quellen, die in der bisher 60-jährigen Geschichte der Röntgenastronomie entdeckt wurden. Bei den meisten der neuen Objekte handelt es sich um aktive galaktische Kerne in sehr großen Entfernungen, die das Wachstum gigantischer schwarzer Löcher im Lauf der kosmischen Zeit markieren. „Dieses Bild ändert vollkommen die Art und Weise, wie wir das energiereiche Universum betrachten“, er-

klärt Peter Predehl, der leitende Projektwissenschaftler am Garching Max-Planck-Institut für extraterrestrische Physik. Im Röntgenlicht sieht das All ganz anders aus als im Blick von optischen oder Radioobservatorien. Außerhalb unserer Heimatgalaxie sind die meisten Quellen aktive Kerne von Galaxien. Daneben gibt es auch Galaxienhaufen, die als ausgedehnte Röntgenhalos erscheinen. Die eRosita-Daten sind zudem eine Fundgrube für seltene und exotische Phänomene, darunter viele Arten von veränderlichen Objekten, verschmelzende Neutronensterne und Sterne, die von schwarzen Löchern verschluckt werden.

www.mpg.de/14999304

FORSCHUNG LEICHT GEMACHT

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

www.mpg.de/mpf-mobil
www.mpg.de/mpforschung

KOSTENLOS
DOWNLOADEN!



ÜBERLEBEN IM ANTHROPOZÄN

Der Mensch hat sich die Erde untertan gemacht – und das in einem Ausmaß, das die menschlichen Lebensgrundlagen bedroht. Für den Weg ins Anthropozän, ins Erdzeitalter des Menschen, hat nach Ansicht unseres Autors die Entwicklung wissenschaftlich-technischen Wissens eine zentrale Rolle gespielt. Wir brauchen jedoch noch mehr Erkenntnisse über die enge Verflechtung zwischen Erde und Mensch, damit wir die Krisen, die wir mit unserem Handeln verursachen, tatsächlich verstehen und bewältigen können.

Gab es jemals eine Zeit, in der uns die Wissensabhängigkeit unserer globalisierten Gesellschaften so deutlich vor Augen trat? Infektionszahlen und epidemiologische Modelle, massenhafte Schnelltests und eine weltweite Impfstoffforschung im Dauersprint entscheiden über Wohl und Wehe der Weltbevölkerung. Chinesische Biomediziner brauchten nur wenige Tage, um das Genom des neu aufgetauchten Coronavirus zu identifizieren und an die Weltgesundheitsorganisation zu übermitteln. Weltweit beraten Epidemiologen, unter stetem Verweis auf die Vorläufigkeit ihres Wissens, ihre jeweilige politische Führung, die ihre Bürger vor der Tödlichkeit exponentieller Ausbreitung und vor dem gesellschaftlichen Kollaps bewahren muss. Ökonomen, Pädagoginnen und Sozialwissenschaftler ermitteln die Effekte der Schock-Gefrierung ganzer Nationen.

Epidemiebedingte Krisen haben schon immer Geschichte geschrieben, man denke nur an die Pest in Europa oder das Massensterben, das die aus der Alten Welt eingeschleppten Pocken-, Masern- und Grippeviren unter amerikanischen Ureinwohnern auslöste. Die gegenwärtige Pandemie nimmt jedoch aufgrund der heutigen zirkulären Verflechtung von globalen Wirtschafts- und Wissenssystemen zweifellos beispiellose Ausmaße an. Mehr noch: Angesichts der tiefen Spuren, die sie in unserer kollektiven Welt hinterlassen wird, gilt es, aus den Erfahrungen mit der Corona-Krise und ihren Ursachen Lehren für die Zukunft zu ziehen.

→

ZUR SACHE

JÜRGEN RENN



ILLUSTRATION: SOPHIE KETTERER

19

Jürgen Renn promovierte 1987 in mathematischer Physik an der Technischen Universität Berlin, bevor er sich der Wissenschaftsgeschichte zuwandte. Er forschte und lehrte in Boston, Tel Aviv und Zürich. 1994 wurde er Gründungsdirektor am Max-Planck-Institut für Wissenschaftsgeschichte in Berlin. In seiner Forschung beschäftigt er sich unter anderem mit den langfristigen Entwicklungen des Wissens und den Dynamiken, die zum Anthropozän geführt haben. Renn ist Mitglied der Nationalen Akademie der Wissenschaften Leopoldina und der International Academy for the History of Science. Im Januar 2020 erschien sein Buch *The Evolution of Knowledge: Rethinking Science for the Anthropocene*. Darin warnt er unter anderem vor einer globalen Ausbreitung von Infektionskrankheiten, die mit Covid-19 bereits Realität geworden ist. Eine deutsche Ausgabe des Buches ist in Vorbereitung.

DIE TRENN- LINIEN ZWISCHEN NATUR UND KULTUR SIND PROBLEMATISCH GEWORDEN

Mit der Corona-Krise verschwinden nicht einfach andere, bereits bestehende Menschheitsherausforderungen. Im Gegenteil, das Virus schärft noch einmal den Blick auf die tiefgreifenden Gefahren für unsere hochmodernen Gesellschaften, die durch verstärkte Nutzung bislang ungestörter Lebensräume von Tieren, durch Ökosystemschwächung und – die wohl umfassendste aller Bedrohungen – den Klimawandel entstehen. Solange ein Verhältnis zur globalen Natur vorherrscht, das diese als unerschöpfliche Ressource und Deponie behandelt, werden wir aus der Steigerungslogik sich gegenseitig verstärkender Krisen nur schwerlich wieder herausfinden. Es ist nicht ausgeschlossen, dass diese dauernde Krisenexposition unsere Gesellschaften letztlich überfordert.

Wissenschaft und Forschung werden sich daher fortan noch stärker der Herausforderung stellen müssen, ihren Beitrag zur Resilienz unserer globalisierten Welt zu leisten, jenseits aller bisher eingezogenen Disziplingrenzen und methodischen Scheuklappen. In einer Gegenwart, in welcher die Probleme nur aus einer umfassenden Perspektive verstanden werden können, ist die Erforschung der komplexen Wechselwirkungen zwischen Gesellschaft, Technik, Umwelt und einem sich insgesamt wandelnden Erdsystem ein Gebot der Daseinsvorsorge.

Die Erde hat sich durch menschliche Eingriffe radikal verändert. Wir sind dabei, eine Erd Epoche zu verlassen, die den menschlichen Kulturen über rund 11 000 Jahre weitgehende klimatische Stabilität und somit ein Zeitfenster für ihre Entwicklung und globale Verbreitung geboten hat. Für den Auszug aus diesem ungewöhnlich stabilen „Holozän“ fand der Chemie-Nobelpreisträger und frühere Direktor am Max-Planck-Institut für Chemie Paul Crutzen die Bezeichnung „Anthropozän“: ein Begriff, welcher den Einfluss des Menschen auf das Erdsystem nicht länger verharmlost.

Menschen handeln im Anthropozän nicht vor dem Hintergrund einer unveränderbaren Natur, sondern sind tief mit deren Struktur verwoben und prägen sowohl ihre unmittelbare wie ihre ferne Zukunft. Die grundlegende Revision unseres Verständnisses vom Zustand dieses Planeten lässt sich nur mit den Umwälzungen der physikalischen Vorstellungen von Raum und Zeit vergleichen, zu denen es in der Nachfolge von Einsteins Relativitätstheorien kam. In der klassischen Physik schienen Raum und Zeit die feste Bühne zu sein, auf der die Ereignisse der Welt stattfanden. Dagegen ist diese Bühne nach Einsteins Theorie kein unveränderlicher Rahmen mehr, sondern selbst Teil des Stücks, es gibt keine absolute Unterscheidung zwischen den Handelnden und dem Bühnenbild.

Die Veränderungen des Erdsystems konfrontieren uns mit einer ähnlich radikalen Notwendigkeit, unsere Situation zu überdenken: Wir leben nicht in einer stabilen Umwelt, die lediglich als Bühne und Ressource für unsere

Handlungen dient, wir gehören zu einer Dynamik, in welcher der Mensch und die nicht-menschliche Welt gleichermaßen eine Rolle spielen. Der Anthropozän-Begriff, wie er heute verwendet wird, ist auch das Ergebnis einer neuen Art von Erdwissenschaften, eines Übergangs von der Geologie zur Erdsystemwissenschaft, die unseren Planeten als nicht-lineares komplexes System mit vielen Wechselwirkungen und Rückkopplungsschleifen versteht, zu denen menschliche Eingriffe einen immer größeren Beitrag leisten.

Durch den Anthropozän-Begriff war mit einem Male eine Brücke zwischen geologischer und historischer Zeit geschlagen. Es wurde deutlich, dass die Zeitskala der Menschheitsgeschichte untrennbar mit der geologischen Zeitskala verknüpft ist. Angesichts der massiven Auswirkungen menschlicher Eingriffe in die Umwelt sind die traditionellen Trennlinien zwischen Natur und Kultur problematisch geworden. Welche Rolle haben Wissenschaft und Technologie dabei gespielt? Waren sie die Brandbeschleuniger, die es dem Kolonialismus und dem industriellen Kapitalismus erst ermöglicht haben, zu Erdzerstörern zu werden? Oder waren sie eher die Cassandra, die frühzeitig gewarnt, auf deren Ratschläge aber leider niemand gehört hat? Die Menschen sind jedenfalls zu einer planetaren Kraft geworden, haben aber noch keine planetare Vernunft entwickelt.

Wie Gesellschaft, Wissenschaft und Zukunftsgestaltung zusammenhängen, lässt sich nur mit Blick auf die Entwicklung des Anthropozäns beurteilen.

Die Frage, welche Prozesse und Dynamiken uns ins Anthropozän geführt haben, wird gegenwärtig breit diskutiert. Vorschläge reichen vom Aussterben der Megafauna im späten Pleistozän durch neue menschliche Jagdfertigkeiten sowie weitere Umwelt- und Klimafaktoren über den Beginn von Landwirtschaft und Viehzucht, die frühe Neuzeit und die industrielle Revolution bis zur sogenannten Großen Beschleunigung seit der Mitte des 20. Jahrhunderts, auf die sich zurzeit der Fokus der Geologen richtet.

Alle diese historischen Einschnitte haben Spuren in der Erdgeschichte hinterlassen: die zunehmende Dominanz domestizierter Tiere und kultivierter Pflanzen in der Biosphäre, der vom europäischen Kolonialismus verursachte Austausch von Arten (ebenso wie todbringender Krankheitserreger) zwischen seit Jahrmillionen getrennten Lebenswelten, der rapide Anstieg des CO₂-Gehalts in Atmosphäre und Ozeanen seit der industriellen Revolution und der exponentielle Anstieg des globalen Rohstoffverbrauchs seit der Großen Beschleunigung.

Alle diese Einschnitte haben zugleich menschliche Handlungsmöglichkeiten verändert und verstärkt: Ohne sesshafte Landwirtschaft und Viehzucht wären die frühen Hochkulturen nicht denkbar gewesen, ohne diese Hochkulturen hätte es wohl keine moderne Wissenschaft gegeben, und ohne die wissenschaftliche Revolution der Neuzeit wären wohl auch weder

21

WIR FÜHREN EIN
EXPERIMENT
DURCH MIT DEM
GESAMTEN
ERDSYSTEM, DAS
WIR NOCH SEHR
UNZUREICHEND
VERSTEHEN

→

Kolonialismus noch industrielle Revolution möglich geworden. In dieser langfristigen Co-Entwicklung zeigt sich, wie sich unser Wissen und damit unsere Gestaltungsmacht erhöht und zugleich die damit verbundenen, nicht beabsichtigten oder bewusst in Kauf genommenen Konsequenzen potenziert haben.

Unsere heutigen Gesellschaften sind tief verwurzelt in diesem Wechselverhältnis von Wissen, Kulturtechniken und Eingriffen in die Natur. Mittlerweile befinden wir uns in einer Eskalation dieses Verhältnisses und führen faktisch ein globales Experiment mit einem planetaren Gesamtsystem durch, das wir trotz allem noch sehr unzureichend verstehen. Welche Auswirkungen dieses Experiment hat und welche Maßnahmen auch immer wir in Zukunft ergreifen, um diese Auswirkungen abzufedern, sie werden wesentlich vom verfügbaren Wissen über die Wechselwirkung zwischen dem Erdsystem und seinen menschlichen Komponenten abhängig sein. Es ist in jedem Falle von zentraler Bedeutung für die Gestaltung unserer anthropozänen Zukunft, dass wir die Evolution unseres Wissens verstehen.

Doch was genau ist Wissen? Individuelles Wissen basiert auf der Kodierung von Erfahrungen, die ein Individuum in die Lage versetzen, als Teil seines Anpassungsverhaltens Probleme zu lösen. Während das Wissen Einzelpersonen ermöglicht, ihre Handlungen zu planen und über die Ergebnisse nachzudenken, kann eine Gesellschaft oder eine Institution allerdings nicht „denken“, sondern lediglich die Folgen ihres Handelns innerhalb einer „Wissensökonomie“ antizipieren.

Die Wissensökonomie bezeichnet dabei die Gesamtheit der gesellschaftlichen Institutionen und Prozesse, die das einer Gesellschaft zur Verfügung stehende Wissen weitergeben, vermehren und verbreiten – insbesondere das Wissen, mit dessen Hilfe eine Gesellschaft ihren Erhalt und ihr Wachstum sichern kann. Die Grenzen von Wissensökonomien dürften eine entscheidende Rolle bei den Zusammenbrüchen historischer Gesellschaften gespielt haben, wie sie zum Beispiel der Evolutionsbiologe Jared Diamond in seinem Buch *Kollaps* betrachtet hat. Eine Wissensgeschichte des Anthropozäns schließt daher eine Geschichte der Wissensökonomien ein, in denen Wissen mit letztlich planetaren Auswirkungen produziert, geteilt und reproduziert wurde – oder eben gerade nicht erzeugt oder sogar verdrängt wurde.

Aus evolutionärer Sicht gehört Wissen neben sozialen Institutionen zu den Strukturen, die menschliches Verhalten regeln. Zugleich formt menschliches Handeln die Umweltbedingungen, unter denen Menschen leben. Damit verkörpern die Umweltbedingungen auch die Strukturen menschlichen Verhaltens. Umgekehrt bildet diese von Menschen geprägte materielle Umgebung wiederum den Ausgangspunkt für neue Erkenntnisprozesse und gesellschaftliche Formatio-

22

WISSENSBASIERTE
TECHNOLOGIEN
SIND EINE
WESENTLICHE
BEDINGUNG FÜR
DAS LEBEN IM
NEUEN ZEITALTER

nen. Damit entsteht ein ständiges Wechselspiel zwischen der materiellen Verkörperung vorhandener Verhaltensregulative und der Veränderung dieser Regulative durch neue Erfahrungen, ein Wechselspiel, das die allgemeine Dynamik der kulturellen Evolution bestimmt.

Unter den jeweils gegebenen Umweltbedingungen sind Gesellschaften in der Lage, einige dieser Bedingungen zu reproduzieren, andere hingegen nicht. So hat der Mensch im Übergang zu einer bäuerlichen Lebensweise gelernt, Umweltbedingungen zu reproduzieren, die es ihm ermöglichen, seine eigenen Nahrungsmittel zu erzeugen. Auf diese Weise konnten zunächst zufällig vorgegebene äußere Bedingungen, wie die lokale Verfügbarkeit von Pflanzen und domestizierbaren Tieren, schließlich zu dominanten Merkmalen der weiteren globalen Entwicklung werden.

Der Eintritt ins Anthropozän ist nicht auf eine einzelne Ursache oder einen einzelnen Moment zurückzuführen. Er lässt sich vielmehr am besten als eine Kaskade evolutionärer Prozesse beschreiben, die zu einer „epistemischen Evolution“ führte.

Mit der epistemischen Evolution sind menschliche Gesellschaften – abhängig von der Nutzung fossiler Energie und von zunehmend wissenschaftsbasierten Infrastrukturen und Technologien – in eine Wechselbeziehung mit dem Erdsystem als Ganzem eingetreten. Was Steinwerkzeuge, Jagen, Sammeln für das Pleistozän und später dann Ackerfrüchte, Kleidung und Behausungen für das Holozän waren, das sind wissenschaftsbasierte Technologien für das Anthropozän: wesentliche Bedingungen für das menschliche Leben beziehungsweise Überleben. Dieser Prozess lässt sich spätestens seit der industriellen Revolution beobachten, er findet aber unter den gegenwärtigen Bedingungen von Digitalisierung, umfassender Mobilität, globalen Lieferketten, technokratischer Staatsführung und nicht zuletzt auch internationaler Hochleistungsmedizin einen vorläufigen Höhepunkt.

War die Möglichkeit der Reproduktion lebenswerter externer Bedingungen zu Zeiten der kulturellen Evolution im Wesentlichen eine Frage der Umstände, so wird sie im Zeitalter der epistemischen Evolution immer mehr eine Frage des Wissens sein müssen. Das betrifft insbesondere die Konsequenzen unseres Handelns für das gekoppelte Erde-Mensch-System. Das Verständnis dieses komplexen Systems erfordert neue wissenschaftliche Ansätze, die helfen, die systemischen Schocks unseres hochindustrialisierten und äußerst fragilen Zeitalters besser zu verstehen und zu parieren: eine „Geoanthropologie“ oder Erde-Mensch-Wissenschaft des Anthropozäns. Solche wissenschaftlichen Ansätze, die zurzeit auch im Zusammenhang mit der Gründung eines neuen Max-Planck-Instituts diskutiert werden, sind bestrebt, die notwendige Anpassung an die systemischen Risiken der Gegenwart und die Beseitigung ihrer Ursachen effektiv zusammenzubringen.



IM FOKUS

GEHT INS OHR

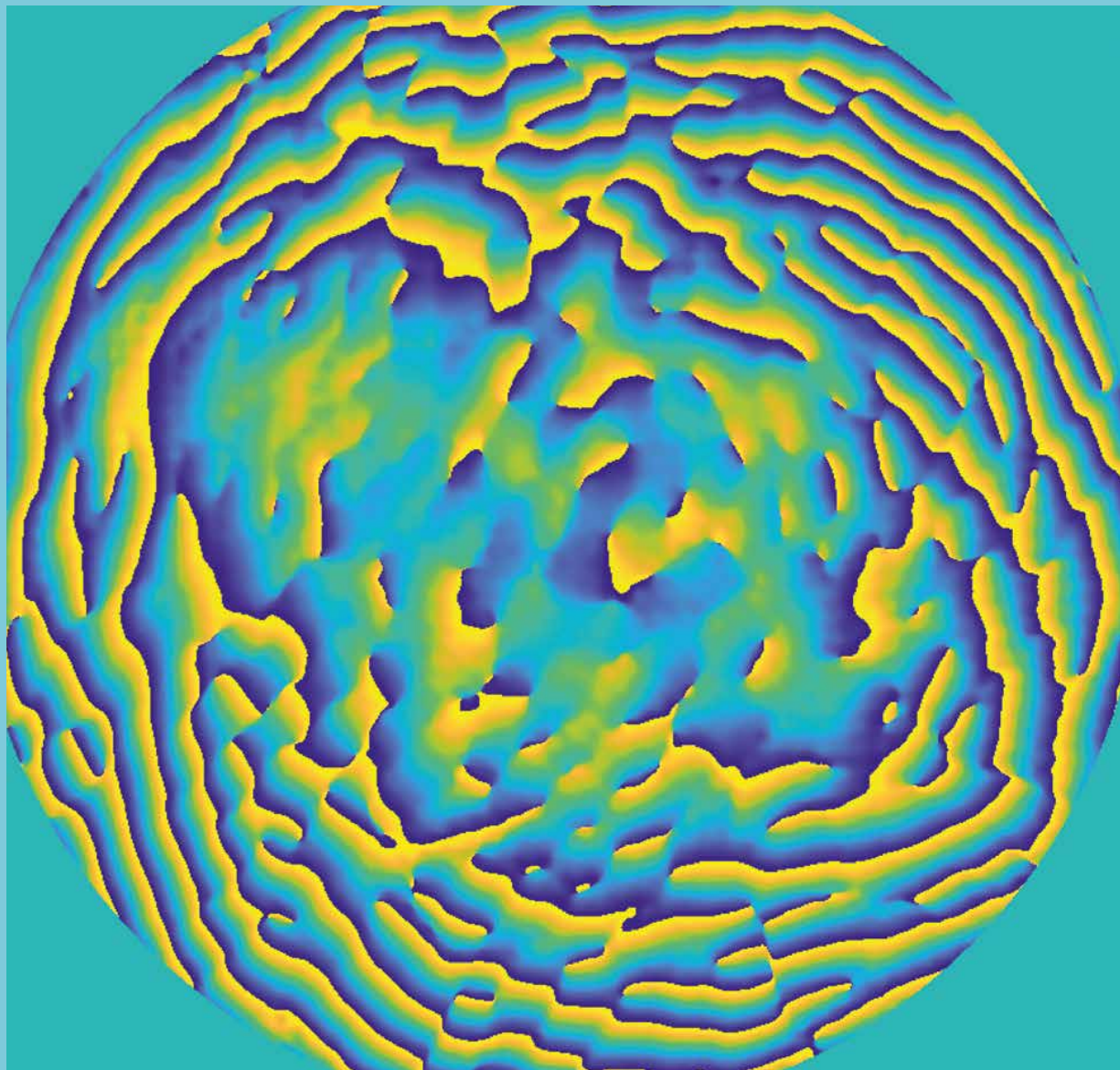
24 | Schall nimmt Gestalt an

32 | Soundcheck

40 | Mit der richtigen Peilung

24

BILD: KAI MELDE/MPI FÜR INTELLIGENTE SYSTEME



Malen mit Ultraschall:
Um Mikropartikel zu einem Bild zu arrangieren, berechnen Max-Planck-Forscher zunächst, welches Hologramm das entsprechende Schallprofil erzeugt. Mit diesem simulierten Hologramm entsteht dann ein Teilchenbild von Pablo Picassos „Friedenstaube“.

SCHALL NIMMT GESTALT AN

TEXT: FELICITAS MOKLER

25

Winzige Teilchen mithilfe von Ultraschall zu manipulieren oder gar zu beliebigen Mustern zu arrangieren, das gelingt mit der Methode der akustischen Holografie. Forscher um Peer Fischer vom Stuttgarter Max-Planck-Institut für Intelligente Systeme haben diese Technik erfunden. Nun arbeiten die Physiker schon an deren Anwendung in der Medizin.

„Ultraschall begegnet uns in vielen Bereichen des Alltags, etwa in der medizinischen Bildgebung, in der zerstörungsfreien Werkstoffprüfung oder der Abstandsmessung als Einparkhilfe“, erläutert Kai Melde. Der Postdoc in der Arbeitsgruppe von Peer Fischer am Max-Planck-Institut für Intelligente Systeme weiß Ultraschall aber noch auf ganz andere Weise zu nutzen. Er hält damit winzige Partikel in der Schwebe oder transportiert sie scheinbar ohne physischen Kontakt von einem Ort an einen anderen. Was nach einem Zaubertrick klingt, ist für Kai Melde und Peer Fischer mittlerweile zur Routinearbeit im Labor geworden. Mit einer ausgeklügelten Technik modifizieren sie akustische Signale so, dass sie mikrometerkleine Teilchen bewegen und sogar zu nahezu beliebigen Mustern anordnen können. Die Methode ist beispielsweise für medizinische Behandlungen mit Ultraschall, für Analysen in der Werkstofftechnik oder labormedizinische Untersuchungen von Zellkulturen in Petrischalen interessant.

Mit der Technik hat das Team um Peer Fischer ein vielversprechendes neues Forschungsfeld aufgetan, geplant war das aber, wie so oft in der Wissenschaft, nicht. Gewöhnlich entwickeln die Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler Nano- und Mikroroboter oder forschen an funktionellen Materialien. Die winzigsten Bauteile dieser Materialien ordnen sie mithilfe von magnetischen Feldern oder chemischen Reaktionen so an, dass sich beispielsweise ein Sensor bildet. „Auf die Manipulationsmethode durch Ultraschall sind wir gekommen, als wir nach einer Möglichkeit suchten, auch biologische Materialien zu bearbeiten“, erklärt Peer Fischer.

Schall als Pinzette

Die Idee an sich, Schall zu formen und als Transportmittel in der Mikro- oder Nanowelt zu nutzen, ist nicht neu. Sie geht auf Forschungsarbeiten aus den 1980er-Jahren zurück, welche erst zur optischen und später auch zur akustischen Pinzette führten. Dabei nutzen Physiker den Strahlungsdruck von Licht oder Schallwellen, um einzelne Mikropartikel in Luft oder Flüssigkeiten einzufangen und gezielt zu positionieren. Im einfachsten Fall einer akustischen Pinzette schicken sie zu diesem Zweck mit einem Schallsender Druckwellen in ein mit Luft oder Wasser gefülltes Gefäß. Dieser Sender funktioniert wie ein Lautsprecher – allerdings für den unhörbaren Ultraschall. Weil das Medium in dem Behälter räumlich begrenzt ist, formt sich darin eine stehende Welle, in deren Knotenpunkten die Wellenbewegung ruht. An diesen Orten lassen sich Mikroteilchen einfangen. Der Schall wirkt dabei wie eine Art unsichtbare Pinzette.

Ordnet man zwei solcher Sender senkrecht zueinander an, überlagern sich die stehenden Wellen, sodass die Knotenpunkte und die darin gefangenen Partikel ein Gitter bilden. Mehrere Schallsender können noch komplexere Muster aus einer Vielzahl an Knotenpunkten erzeugen, die als Pixel in einem Bild dienen. Durch die individuelle Steuerung der Sender lässt sich die Phase der einzelnen Ultraschallwellen einstellen. Die Phase gibt an, wo Wellen einer bestimmten Frequenz ihre maximalen und minimalen Intensitäten erreichen. So können die Forscher die Orte, an denen die akustischen Knotenpunkte entstehen und sich die Mikroteilchen ansammeln, aktiv steuern. Im Prinzip ließen sich die Mikroteilchen auf diese

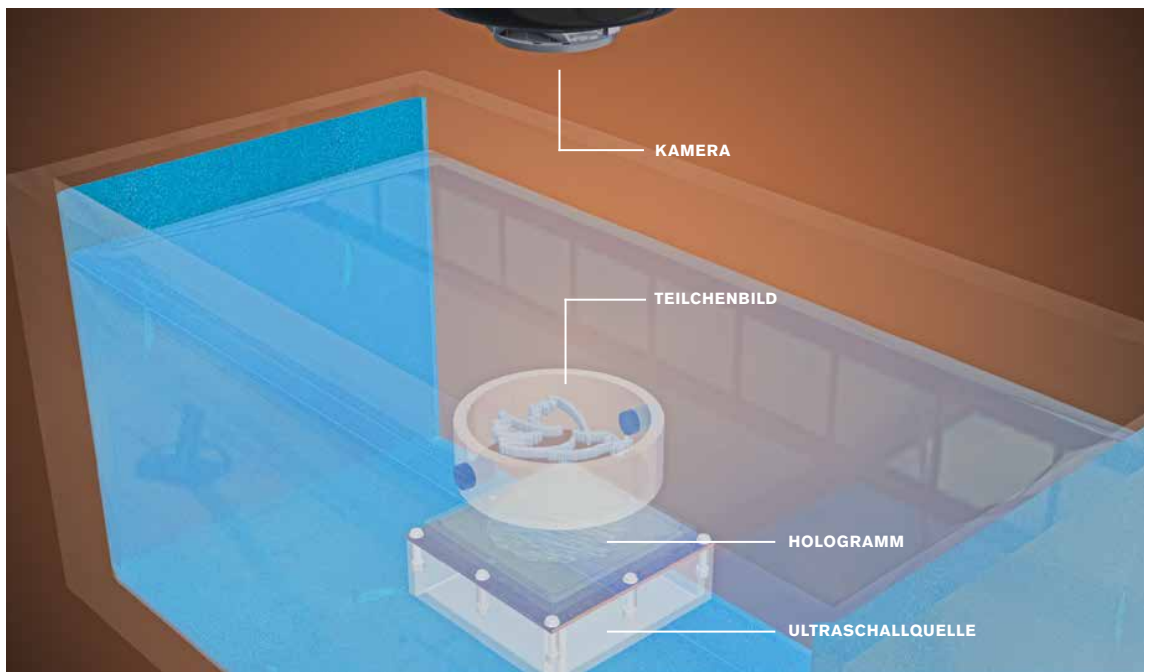
„Besonders spannend finde ich die Möglichkeiten, die akustische Holografie für die Medizin, vor allem für die Therapie mit Ultraschall bietet.“

PEER FISCHER

Weise zu beliebigen Mustern arrangieren. Allerdings steigt der Aufwand mit zunehmender Anzahl an Schallsendern ganz enorm. Außerdem ist die Auflösung des Bildes durch die Größe der Schallquellen begrenzt.

Um diese Probleme zu umgehen, hat das Team um Peer Fischer und Kai Melde, an dem auch Forschende der Universität Stuttgart beteiligt waren, eine andere Technik ausgetüfelt: Sie ersetzen das Ensemble von mehreren Schallsendern durch ein speziell geformtes Kunststoffrelief, das sie mit einem einzigen Sender beschallen. Bei dieser Kunststoffplatte handelt es sich um ein akustisches Hologramm. Aus der Optik sind Hologramme bekannt, die die Fotografie um die dritte Dimension erweitern. Denn neben der Lichtintensität verwendet die Holografie auch die Phase der

GRAFIK & FOTO: KAI MELDE/MPI FÜR INTELLIGENTE SYSTEME



Oben: In einem Wassertank platzieren Forschende einen Ultraschallsender und ein Hologramm. Damit produzieren sie in einem Container darüber das Schallprofil, das Partikel zum gewünschten Bild zusammenreibt.

Links: Mit der „Friedens-taube“ von Picasso zeigten Stuttgarter Max-Planck-Forschende zum ersten Mal, dass akustische Hologramme sich eignen, um Strukturen aus Mikroteilchen aufzubauen. Der Bildausschnitt entspricht etwa fünf Zentimetern.

Lichtwellen: Bei der Reflexion an einem dreidimensionalen Gegenstand verschieben sich deren Berge und Täler auf charakteristische Weise. Die Phase transportiert daher Information über die räumliche Struktur des Objekts, sodass holografische Bilder ihre typische dreidimensionale Form erhalten.

Auch ein akustisches Hologramm enthält Information über die Phase der Wellen, in diesem Fall der Schallwellen. Es verhält sich daher wie Tausende kleiner Schallsender zusammen. Um zu demonstrieren, wie sich akustische Hologramme erzeugen und damit Partikel manipulieren lassen, arrangierten die Stuttgarter Physiker unter anderem Mikropartikel in einer Flüssigkeit zur „Friedens-taube“ von Pablo Picasso. Da das Motiv recht komplex und zugleich fein struk-

turiert ist, muss die Auflösung des Hologramms entsprechend hoch sein. Um die Taube aus Partikeln, die sie mit Schall einfangen, nachzubilden, erstellen die Forscher am Computer zunächst eine Phasenkarte des Bildes. Dann simulieren sie, wie ein Kunststoffrelief geformt sein muss, damit es einer Ultraschallwelle genau dieses Phasenprofil aufprägt. Je dicker das Material ist, das eine Schallwelle durchdringt, desto stärker wird ihre Phase verzögert. „Per Software berechnen wir die notwendige Schichtdicke in jedem der 15 000 Bildpunkte des Hologramms“, erklärt Kai Melde. So wird jeder Bildpunkt zu einem eigenständigen kleinen Schallsender. Dabei ist ein Bildpunkt rund 375 Mikrometer groß. Das entspricht etwa der halben Wellenlänge des Ultraschallsignals in Wasser und damit der theoretischen Auflösungs-



grenze der Schallwellen. Das Kunststoffrelief fertigen die Forschenden anschließend im 3D-Druckverfahren an.

Für das eigentliche Experiment füllen sie eine Kammer mit Wasser und fügen 150 Mikrometer große Silikonkugeln hinzu. Unterhalb der Kammer platzieren sie das Hologramm, das sie mit einem Ultraschallsender beschallen. Tatsächlich ordnen sich die im Wasser schwimmenden Silikonkugeln nun zu einer Kopie von Picassos „Friedenstaube“ an. Damit die Teilchen nicht ihre Form verlieren, sobald der Schall abgeschaltet wird, überziehen die Forscher sie mit einem photochemischen Material. „Wenn wir die Partikel dann mit UV-Licht bestrahlen, verbinden sie sich lokal, und die Strukturen lassen sich dauerhaft erhalten“, erläutert Peer Fischer. Statische Bilder herzustellen, ist aber nicht die einzige Fähigkeit akustischer Hologramme. So erzeugen Kai Melde und Peer Fischer mit einem anderen, entsprechend strukturierten Kunststoffrelief eine Ringwelle, auf der sie Mikroteilchen sogar zum Surfen bringen.

Anwendungen in der Medizin

Die ersten Experimente zur akustischen Holografie wirken zwar fast wie eine ausgeklügelte Spielerei, die Technik könnte aber verschiedene Anwendungen in Medizin und Technik finden. So wären akustische Hologramme, die mehrere Ultraschallquellen simulieren, geeignet, die Untersuchung von Werkstoffen, etwa in Flugzeugtragflächen, auf Risse zu vereinfachen. Dabei wird ausgenutzt, dass sich Schall in intaktem Material anders fortpflanzt als in defektem. „Besonders spannend finde ich aber die Möglichkeiten, die akustische Holografie für die Medizin, vor allem für die Therapie mit Ultraschall bietet“, sagt Peer Fischer. Schon heute wird Ultraschall eingesetzt, um krankes Gewebe zu zerstören oder Nierensteine zu zertrümmern. Mit Hologrammen ließen sich nun maßgeschneiderte Schallprofile erzeugen, die nur krankes Gewebe treffen.

„Die akustische Holografie erlaubt aber auch den Einsatz von Ultraschall im Gehirn“, erklärt Peer Fischer. „Das ist konzeptionell völlig neu, weil solche Behandlungen bislang nicht möglich sind.“ Die Dicke des Schädelknochens schwankt nämlich so stark, dass ein Ultraschallsignal dadurch bis zur Unbrauchbarkeit verzerrt wird. Dass ein holografisches Kunststoffrelief diese Schwankungen ausgleichen kann, hat kürzlich ein spanisches Team der technischen Universität Valencia gezeigt. Peer Fischers Gruppe arbeitet gemeinsam mit Forschenden des Fraunhofer-Instituts für Biomedizinische Technik daran, die Methode in die medizinische Anwendung zu bringen. Für die holografische Entstörung von Ultraschall-

wellen im Gehirn ermitteln Mediziner anhand von Röntgenbildern zunächst, wie sehr die Stärke der Schädeldecke variiert, und erstellen dann ein Kunststoffrelief, das die Unterschiede wettmacht. Die Methode könnte helfen, krankes Gewebe etwa eines Tumors im Gehirn zu entfernen.

Mittlerweile arbeiten die Forscher auch an einem Verfahren, Zellen in einer Petrischale mittels akustischer Holografie gezielt zu strukturieren, ohne dabei in die Kultur eindringen und die Zellen mechanisch berühren zu müssen. Auf diese Weise möchten sie künstliche Tumore oder Organoide, also Labormodelle von Organen, herstellen, die Tests von medizinischen Wirkstoffen verbessern und somit auch Tierversuche ersetzen. In ihren Experimenten arbeiten die Forscher mit Darmkrebszellen, weil sich diese im Labor gut züchten lassen, aber auch, weil künstliche Tumore zu den möglichen Anwendungen der akustischen Pinzette gehören.

Um Tumore oder Organe nachzubilden, suchen die Forscher gemeinsam mit Kolleginnen und Kollegen des Max-Planck-Instituts für medizinische Forschung zunächst einen Weg, Zellen in zwei Dimensionen zu beliebigen Mustern zu ordnen. Im nächsten Schritt weiten sie die Zellarrangements dann in die dritte Dimension aus, die für belastbare medizinische Studien nötig ist. „Zellen verhalten sich in einer dreidimensionalen Umgebung anders als in einer zweidimensionalen Ebene. Und für bestimmte Medikamententests, für Versuche zum Tumorwachstum oder auch Organoide benötigt man einfach die dritte, räumliche Komponente“, erläutert Peer Fischer.

Um aus biologischem Material zweidimensionale Muster oder auch dreidimensionale Formen zu erzeugen, betten die Forscher die Zellen in ein Hydrogel ein, in dem sie sich später einmal weiter vermehren sollen. „Das Problem dabei ist, dass Zellen vorwiegend aus Wasser bestehen“, erläutert Peer Fischer. „Daher haben sie kaum Kontrast zum umgebenden Hydrogel

AUF DEN PUNKT GEBRACHT

Akustische Hologramme nutzen wie optische Hologramme nicht nur die Intensität einer Schallwelle, sondern auch deren Phase. Auf diese Weise lassen sich durch Überlagerung vieler Wellen komplexe Schalldruckprofile erzeugen, mit denen sich Teilchen in einer Flüssigkeit manipulieren und ordnen lassen.

Akustische Hologramme stellen Stuttgarter Max-Planck-Forschende her, indem sie zunächst zurückrechnen, in welchem Verhältnis der vielen Tausend Teilwellen ein gewünschtes Muster zusammengesetzt werden kann und welches Hologramm schließlich diese einzelnen Wellen erzeugt.

Mithilfe der akustischen Holografie wollen die Forscher auch künstliche Tumore oder Organoide herstellen, an denen sich medizinische Wirkstoffe realitätsnah testen lassen. Auf diese Weise kann möglicherweise auch ein Teil der Tierversuche in der Medikamentenentwicklung ersetzt werden.

und sind schwer mit einer akustischen Pinzette zu greifen.“ Die Zellen folgen nämlich einfach der Wellenbewegung des Schalls. Doch bald erkannten die Forscher, dass der Ultraschall die Partikel nicht nur unmittelbar durch seine Schwingungen antreibt, sondern auch indirekt, weil er in der gesamten Flüssigkeit Strömungen anregen kann. Indem sie die verschiedenen Bewegungsformen sorgfältig aufeinander abstimmen, gelingt es ihnen schließlich doch, die Zellen in die gewünschten Positionen zu bringen.

Also simuliert Kai Meldes Kollege Zhichao Ma am Computer, wie sich die durch den Ultraschalldruck im Gel hervorgerufenen Strömungen und die akustischen Kräfte, die auch direkt auf die Zellen wirken, optimal kombinieren lassen, um die Zellen zu bestimmten Mustern anzuordnen. Das passende Hologramm dazu fertigte Kai Melde an. Das an der Unterseite der Petrischale platzierte Relief beschallten die Physiker schließlich mit Ultraschall. Auch diesmal organisierten sich die Zellen in der Petrischale

—>

„Wenn wir Partikel in drei Dimensionen kontrollieren wollen, müssen auch aus allen Richtungen Schallwellen auf sie einwirken. Man braucht also mehr als einen Schallsender.“

KAI MELDE

Die erste 3D-Struktur: Kai Melde beobachtet, wie sich in einem würfelförmigen Gefäß, das in einen Wassertank eingetaucht ist, ein Zwölfeck formt. Damit zeigten er und seine Kollegen erstmals, dass sich mit zwei Ultraschallquellen und entsprechenden Hologrammen auch räumliche Gebilde darstellen lassen. Die Schallquellen sind als Metallzylinder unterhalb des Würfels zu erkennen.

29

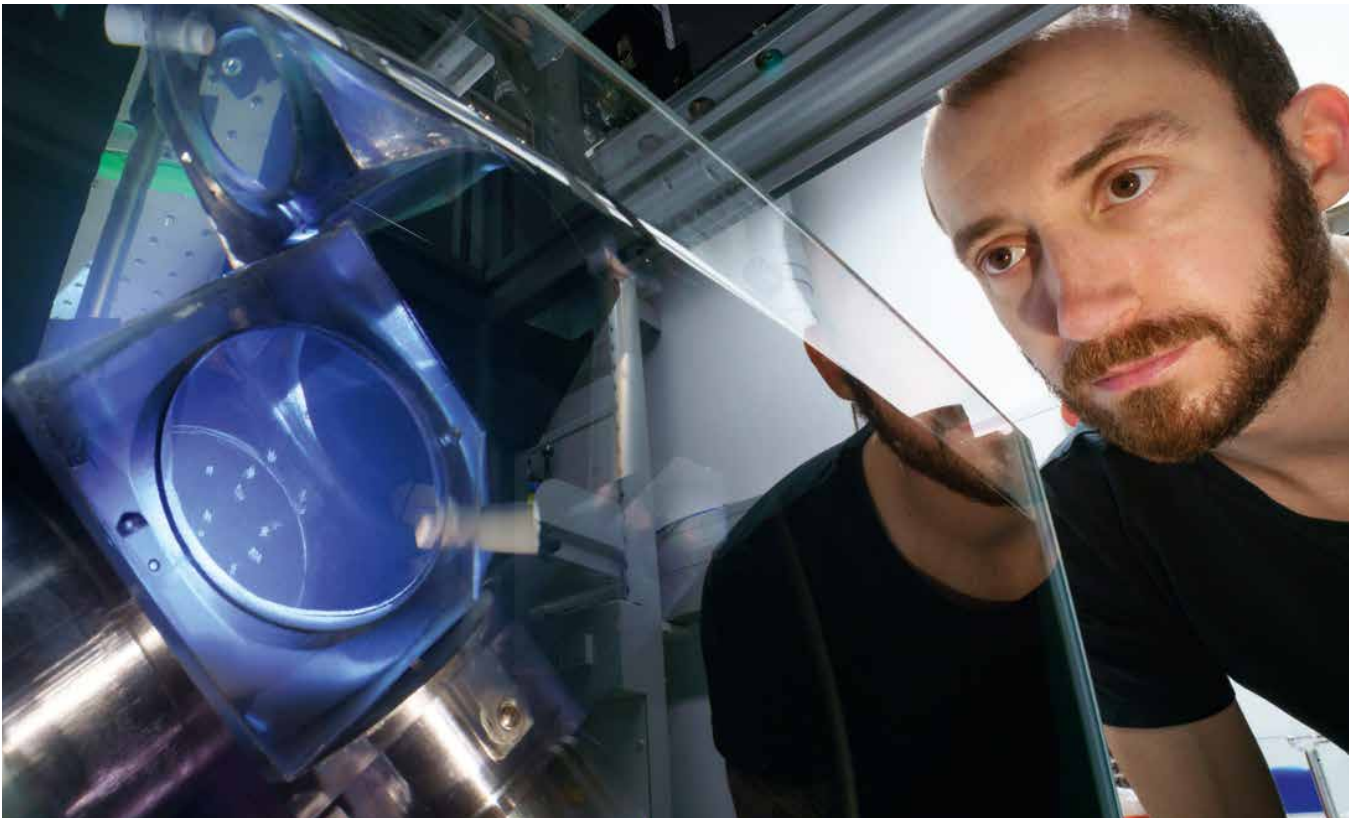


FOTO: WOLFRAM SCHEIBLE



Auf dem Weg in eine neue Dimension: Die Stuttgarter Forscher versuchen nicht nur die Phase der Schallwellen, also gewissermaßen deren Position, zu manipulieren, sondern auch deren Amplitude. Zu diesem Zweck kombinieren sie in Hologrammen Materialien wie etwa verschiedene Kunststoffe (schwarzes Hologramm links oben) oder Kunststoff mit einem weißen Schaum (rechts daneben). Sie lassen aber auch Luftblasen in einen Kunststoff ein (Hologramm am linken Bildrand). Der zusätzliche Freiheitsgrad erleichtert es ihnen, aus Partikeln und Zellen 3D-Strukturen zu formen.

genauso wie geplant – zum Beispiel in Form des Max-Planck-Emblems der Minerva.

Damit Mediziner später einmal mit den Zellen arbeiten können, dürfen die Zellkulturen ihre Form jedoch nicht wieder verlieren, sobald der Schall abgeschaltet wird – allerdings ist fotochemischer Klebstoff für die Zellen keine Option. Doch auch dieses Problem haben die Physiker am Max-Planck-Institut für Intelligente Systeme bereits gelöst. „Wir verwenden ein Hydrogel, das zunächst flüssig ist und nach einiger Zeit geliert“, erläutert Peer Fischer. Denn die von Peer Fischer und seinem Team verwendete Substanz ist temperaturempfindlich und erwärmt sich durch den Schalldruck leicht. Die Temperaturerhöhung führt dazu, dass das Gel nach wenigen Minuten, wenn die Zellen die gewünschte Konfiguration eingenommen haben, erstarrt. So können die Zellen nicht mehr davonschwimmen, sich aber dennoch teilen. Und für die medizinische Forschung auch wichtig: „Wir haben nachgewiesen, dass die Zellen die akustische Behandlung unversehrt überleben“, sagt Kai Melde. „Anschließend ließen sie sich in der im Gel fixierten Anordnung weiter kultivieren.“

Dreidimensionale Zellstrukturen

Nachdem es dem Stuttgarter Team gelungen ist, mit der akustischen Holografie Zellmuster in zwei Dimensionen zu bilden, arbeitet es nun an dreidimensionalen Strukturen. Doch der Schritt in die dritte Dimension ist alles andere als trivial. Zwar lassen sich mit Hologrammen auch dreidimensionale Schallprofile erzeugen, was Peer Fischers Team in Experimenten auch schon gelungen ist. Im Gegensatz zu den bisherigen Versuchen in zwei Dimensionen werden Partikel oder Zellen jetzt aber nicht mehr an einer Oberfläche angeordnet, sondern sind in alle Richtungen frei beweglich. Es ist schwierig, die neu gewonnene Freiheit von nur einer Seite zu kontrollieren. „Wenn wir Partikel in drei Dimensionen kontrollieren wollen, dann müssen auch aus allen Richtungen Schallwellen auf sie einwirken. Man braucht folglich mehr als einen Schallsender“, erklärt Kai Melde. Deshalb entwickeln Melde und seine Kollegen nun Konzepte, wie sich ein Volumen mit zwei oder drei Sendern von verschiedenen Seiten beschallen lässt und sich die Partikel dann zu dreidimensionalen Mustern zusammenfinden können.

Der Aufwand, Zellen mithilfe der akustischen Holografie in drei Dimensionen zu strukturieren, könnte sich in Zukunft beispielsweise bei der Konstruktion von Organoiden auszahlen. Denn die zellschonende Technik kann viel Zeit sparen. Ist nämlich das Hologrammplättchen einmal gedruckt, sind die Zellen in wenigen Minuten in der Petrischale arrangiert. Ließe man Organoide hingegen per 3D-Drucker produzieren, so würde das Stunden oder sogar Tage dauern, weil der 3D-Drucker aus einem Material nur Punkt für Punkt eine Gerüststruktur aufbaut, an der die Zellen dann wachsen. Dagegen lassen sich die Zellen mit einem optischen Hologramm alle gleichzeitig in Form bringen.

Während die Forscher um Peer Fischer und Kai Melde noch an der geeigneten Technik tüfteln, dreidimensionale Zellstrukturen zu formen, loten sie schon die nächsten Möglichkeiten aus, die akustische Holografie bietet. So wollen sie Schallprofile und damit etwa die Arrangements von Partikeln in Bewegung versetzen. Zu diesem Zweck suchen sie Wege, die Hologramme beinahe in Echtzeit zu verändern. In ganz unterschiedlichen Richtungen erkunden die Stuttgarter Forschenden nun also das Gebiet der akustischen Hologramme, das sie selbst erschlossen haben, und werden dabei künftig vermutlich noch manches Terrain mit Ultraschall sondieren.

www.mpg.de/podcasts/schall

31



GLOSSAR

HOLOGRAFIE

Sie nutzt nicht nur die Intensität von Licht- oder Schallwellen, sondern auch deren Phase. Aus diesem Grund enthalten Hologramme auch Informationen über die dreidimensionale Struktur eines Objekts.

ORGANOID

Eine aus vielen Zellen aufgebaute, organähnliche Mikrostruktur.

PHASE

Sie gibt wieder, an welcher Stelle sich eine Wellenbewegung zu einem bestimmten Zeitpunkt befindet. Die Berge und Täler von Wellen mit gleicher Phase liegen an derselben Stelle. Bei einer Phasenverschiebung treten diese versetzt auf, sodass sich das Wellenmuster bei einer Überlagerung der Wellen verändert.

SOUNDCHECK

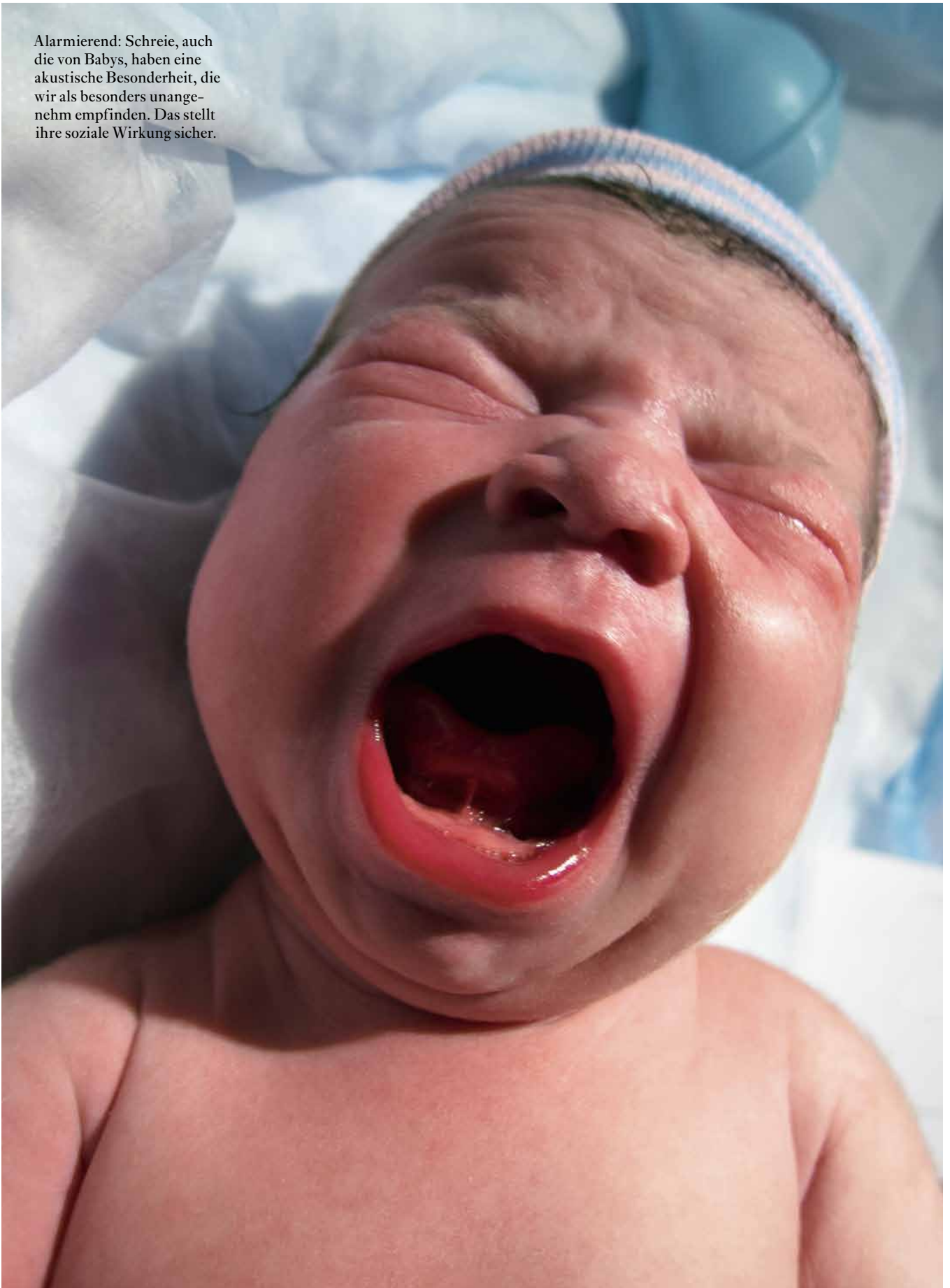
TEXT: TOBIAS HERRMANN

32

Operngesang. Vogelgezwitscher. Lautes Schreien. Eine nicht gestimmte Geige. Manche Töne finden wir instinktiv angenehm, andere unangenehm. Doch wie entscheiden wir, ob etwas gut oder schlecht klingt? Und wie wird Schall im Gehirn überhaupt verarbeitet? Um diese Fragen zu beantworten, versucht das Team um David Poeppel am Max-Planck-Institut für empirische Ästhetik in Frankfurt, Sprache und Musik in ihre elementarsten Bestandteile zu zerlegen. Und am Max-Planck-Institut für Kognitions- und Neurowissenschaften in Leipzig ergründen Forschende das Geheimnis von Superhits.

Alarmierend: Schreie, auch die von Babys, haben eine akustische Besonderheit, die wir als besonders unangenehm empfinden. Das stellt ihre soziale Wirkung sicher.

FOTO: PLAINPICTURE/BLEND IMAGES/ROBERTO WESTBROOK





Einzigartige Messbühne: Das ArtLab am Frankfurter Max-Planck-Institut ist zugleich Konzertsaal und Labor. Es ermöglicht, während der Darbietung verschiedene physiologische Daten von Künstlern – hier das Vokalensemble Cut Circle – und Zuhörenden aufzuzeichnen.

34

Auf die Frage: „Was machen Neurowissenschaften?“ antwortete David Poeppel in einem Interview einmal: „Ein Ding auseinandernehmen und in seine Einzelteile aufbrechen.“ Diese Aussage unterstreicht sowohl die übliche Herangehensweise des Forschers als auch die generelle Ausrichtung des Max-Planck-Instituts für empirische Ästhetik in Frankfurt, an dem Poeppel seit 2014 Direktor ist. An jenem Apriltag im Jahr 2020 erreicht man ihn dort allerdings nicht, stattdessen muss man eine Telefonnummer wählen, der +1 vorangestellt ist – die internationale Vorwahl der USA. Seit 2009 hat der Wissenschaftler im Nebenamt eine Professur für Psychologie und Neurowissenschaften an der New York University inne. Als die Corona-Pandemie ausbrach, verließ Poeppel mit seiner Familie den Hotspot New York City gen Connecticut, wo er bis auf Weiteres von zu Hause arbeitet – was er als „blessing in disguise“ bezeichnet, Fluch und Segen zugleich also, denn wenigstens könne er nun einige Vorhaben angehen, für die er im Tagesgeschäft nie Zeit hatte.

Zeit spielt auch in seiner Forschung eine relevante Rolle, eines seiner Forschungsgebiete umfasst die zeitliche Verarbeitung von Sprache und Musik. Poeppel formuliert es platt: „Eine Schallwelle kommt ans Ohr, wird in ein elektrisches Signal umgewandelt und in Schaltstellen im Gehirn auseinandergefummelt.“

Am Schluss erhält man dann kleine Elementarteilchen, die – wenn man sie korrekt verarbeitet – die entsprechende Information liefern.“ Ihn interessiert also, wie akustische Signale im menschlichen Gehirn verarbeitet werden. Anhand dieser Überlegungen erhofft sich Poeppel dann weiterführende Erkenntnisse für Theorien in den Sprachwissenschaften oder zu ästhetischen Aspekten von Sprache und Musik.

Viele Sprachen, ein Tempo

Man kommt nicht umhin, ein Gespräch mit David Poeppel inspirierend zu nennen. Viele Fragen, die er formuliert, hat man sich vielleicht selbst schon einmal gestellt, andere treffen einen ziemlich unvorbereitet. Manche klingen sehr komplex, andere beinahe schon verblüffend simpel. So erscheint die Frage: „Was ist eine Silbe?“ zunächst banal, schließlich muss man ja kein Linguist sein, um zu wissen, dass jedes Wort aus einer oder mehreren Silben besteht. Doch in wissenschaftlich-technischer Hinsicht ist die Sache weit weniger klar. Seit etwa 70 Jahren, so Poeppel, diskutieren Sprachwissenschaftler nämlich, ob Silben als Elementarteilchen der Sprache gelten sollten oder doch mehr als eine Art Nebenerscheinung kleinerer akustischer Elemente wie der Phoneme, also einzelner Laute.

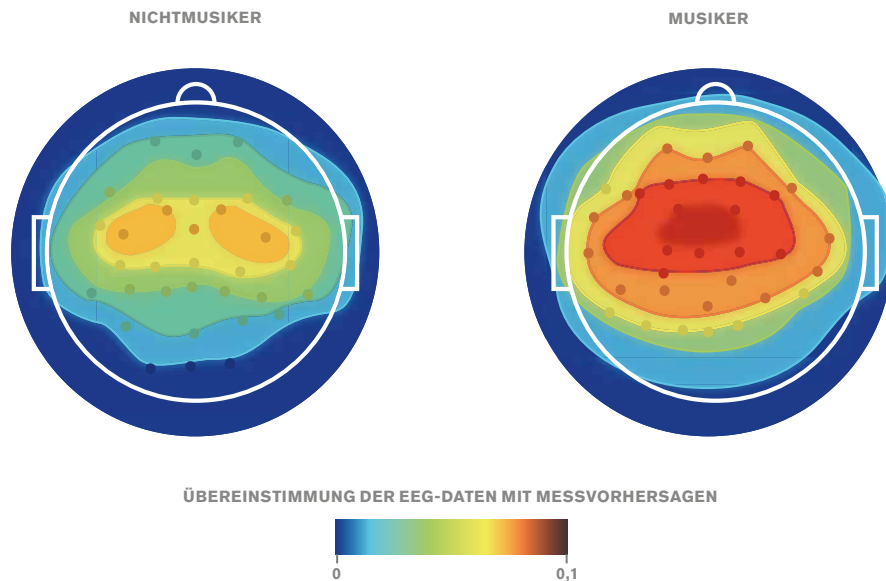
Unbestritten spielen Silben für die Sprachwahrnehmung und Sprachproduktion eine fundamentale Rolle. In einem längeren Projekt analysierte Poeppel mit Kolleginnen und Kollegen für zahlreiche Sprachen das jeweilige Sprachtempo in Relation zur Silbenanzahl. Dabei zeigte sich, dass die durchschnittliche Sprachrate der Geschwindigkeit entspricht, mit der eine Silbe auf die nächste folgt. Das Erstaunliche daran: Dieses Tempo war über unzählige Sprachen hinweg fast identisch. „Das Gefühl, wonach manche Sprachen deutlich schneller gesprochen werden als andere, ist also falsch“, sagt Poeppel.

vorne oder hinten betont ist. Erst diese sogenannte prosodische Kontur macht Sprache interessant und lebendig. Wie wichtig diese Faktoren sind, zeigt sich besonders bei Sarkasmus und Ironie. Je nach Betonung ist dem Gegenüber sofort klar, ob die Aussage „Gut gemacht!“ lobend oder ironisch gemeint ist.

Um solche Nuancen wahrnehmen zu können, sind längere Zeitfenster notwendig, statt einer zeitlichen Auflösung muss das Gehirn zusätzlich noch eine spektrale Auflösung generieren; der Frequenzbereich liegt hier bei einigen Hertz, die entsprechenden Zeitab-

GRAFIK: GGO NACH ACOUSTICAL SCIENCE AND TECHNOLOGY, 41, 361-364

Musikalische Köpfe: Forschende am Max Planck-NYU Center for Language, Music and Emotion untersuchten mittels Elektroenzephalografie (EEG), wie das Gehirn einer Melodie folgt. Auf dieser Basis erstellten sie Vorhersagen über die messbaren Reaktionen. Die Prognose traf bei Musikern genauer zu, und die Korrelation mit den Melodien war besser als bei Nichtmusikern.



In einer Sekunde kann ein Mensch problemlos vier bis fünf mehrsilbige Worte sprechen. Um jedes Wort eindeutig zu verstehen, muss der Zuhörer jeden einzelnen Laut erfassen. Zudem ist die Abfolge der Laute entscheidend. Schon minimale Ungenauigkeiten sorgen für Chaos wie im beliebten Kinderspiel Stille Post. Da wird aus „Wald“ schnell mal „Ball“, aus „Schule“ wird „Schuhe“, „stinken“, „blinken“ und „pinkeln“ lassen sich geflüstert so gut wie nicht unterscheiden.

schnitte sind zwischen 200 und 300 Millisekunden lang. „Letztlich müssen im Gehirn also zwei parallele Prozesse ablaufen“, erklärt Poeppel. „Die richtige Reihenfolge der Laute erfahre ich dabei durch die kurzen, die Betonung und die Sprachmelodie durch die langen Zeitfenster.“ Will man verstehen, wie diese unterschiedlich langen *samples* nun genau analysiert und in konkrete Informationen umgewandelt werden, muss man tief in die Neurobiologie eintauchen. Dort spielen sogenannte neuronale Oszillationen eine wesentliche Rolle.

Damit solche feinen Unterschiede in normalen Gesprächen wahrgenommen werden, ist im Gehirn eine zeitliche Auflösung zwischen 20 und 80 Millisekunden notwendig. „Das Gehirn muss so beschaffen sein, dass es ganz kleine Zeitfensterchen baut, sogenannte *samples*“, sagt Poeppel. Dann habe man jedoch nur eine stakkatoartige Abfolge von Lauten. Sprache hängt aber auch ganz wesentlich von einer bestimmten Betonung, von Pausen und einer Sprachmelodie ab. Für die Bedeutung des Satzes „München wird modern“ ist es zum Beispiel relevant, ob „modern“

Darunter verstehen Neurobiologen die synchrone Aktivierung bestimmter Zellverbände. Sobald ein Satz, eine Melodie oder ein Geräusch als Schallwelle am Ohr ankommt und in ein elektrisches Signal umgewandelt wird, werden im Gehirn gewisse Nervenzellen gleichgeschaltet und in definierten Zyklen an- oder abgeschaltet. Um die zuvor erwähnten kurzen Zeitfenster unter 100 Millisekunden zu verarbeiten, schwingen die dafür zuständigen Zellen mit einer Frequenz zwischen 25 und 35 Hertz, man spricht von



Gammawellen. Für die längeren Abschnitte wird eine andere Art von Zellen mit der Frequenz zwischen drei und acht Hertz aktiviert, diese Schwingungen werden als Thetawellen bezeichnet.

Neuronale Oszillationen spielen nicht nur für die Wahrnehmung von Sprache eine Rolle. Sie unterstützen im Gehirn auch die Verarbeitung von Musik, wie David Poeppel gemeinsam mit Keith B. Doelling von der New York University herausgefunden hat. Die beiden verglichen in ihrer Untersuchung aktive Musiker mit mindestens sechs Jahren musikalischer Ausbildung mit Nichtmusikern. Die Testpersonen hörten mehrmals hintereinander 13 Sekunden lange Ausschnitte aus verschiedenen klassischen Klavierstücken von Johann Sebastian Bach, Ludwig van Beethoven oder Johannes Brahms, wobei sich die Stücke hinsichtlich des Tempos unterschieden – von einer Note in zwei Sekunden bis zu acht Noten pro Sekunde.

Menschen verarbeiten Musik ähnlich wie Sprache

Bei den Musikstücken mit einem schnelleren Rhythmus als eine Note pro Sekunde ließen sich sowohl bei Musikern als auch bei Nichtmusikern kortikale Oszillationen messen, die sich mit der Geschwindigkeit der Töne im gehörten Stück synchronisierten. „Die Befunde zeigen, dass das Vorhandensein dieser Schwingungen unsere Wahrnehmung von Musik und von Tonhöhenänderungen verbessert“, erklärt Keith Doelling.

Dabei war auch zu beobachten, dass sich die Gehirne der Musiker deutlicher mit dem Rhythmus der Musik synchronisierten als die der Teilnehmenden ohne musikalische Ausbildung. Zusätzlich fanden sich nur bei Musikern Oszillationen, die auch mit ungewöhnlich langsamen Stücken in Einklang kamen. Dieser Unterschied weist darauf hin, dass Menschen ohne musikalische Ausbildung kontinuierliche Melodien möglicherweise schlechter erkennen können und Musik eher als aneinandergereihte Töne wahrnehmen. Für die Forschung zeigen die Ergebnisse zudem, dass niederfrequente Oszillationen dem Gehirn dazu dienen, sich Sprache oder Musik zu erschließen.

Pauline Larrouy-Maestri, Wissenschaftlerin in Poeppels Abteilung, interessiert sich ebenfalls für die Zusammenhänge zwischen Sprache und Musik. Angesichts ihres breit gefächerten Hintergrunds scheint sie für diese Art der Forschung geradezu prädestiniert. Sie studierte Psychologie und Musik, spielt Klavier und arbeitete als Sprachtherapeutin. Ein typisches Experiment wäre etwa: Larrouy-Maestri bittet Freiwillige, bestimmte Musik zu hören und die Darbietung zu bewerten. Dazu greift sie entweder

auf natürliches oder synthetisches Musikmaterial zurück, von denen beide Vor- und Nachteile haben. „Synthetisches Material lässt sich sehr einfach manipulieren und kontrollieren, ist aber weniger natürlich, weshalb sich nur eingeschränkt sagen lässt, wie Menschen Musik tatsächlich wahrnehmen“, sagt Larrouy-Maestri.

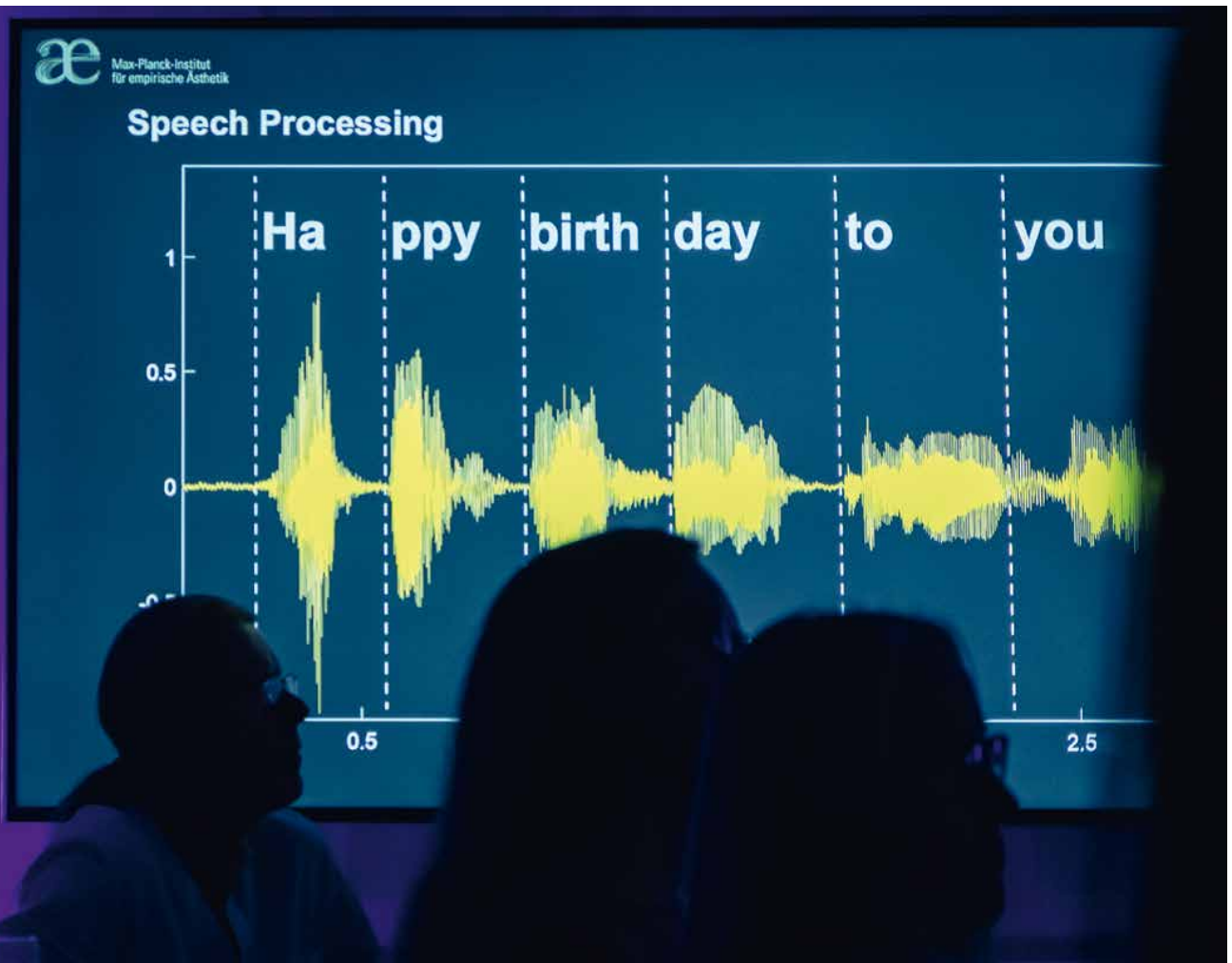
In einem Experiment, das sie mit ihrem Kollegen Xiangbin Teng durchführte, hörten Freiwillige Musikstücke von Bach, die jedoch an bestimmten Stellen verändert waren. Währenddessen beobachteten die Forschenden, wie die Gehirne der Probanden auf die manipulierten Stellen reagierten. Es zeigte sich: Die Testpersonen waren in der Lage, harmonische Strukturen wahrzunehmen, und konnten daher genau sagen, welche Stellen manipuliert waren. Mit dem Experiment zeigten Pauline Larrouy-Maestri und Xiangbin Teng, dass Menschen musikalische Werke ähnlich verarbeiten wie Sprache. Während fließend Gesprochenes in linguistische Abschnitte unterteilt wird, wie etwa Sätze, Wörter oder Silben, wird ein zusammenhängendes Musikstück in musikalische Einzelteile wie Melodien, Akkorde oder Noten zerlegt. Je musikalischer die Probandinnen und Probanden waren, desto besser konnte ihr Gehirn die musikalischen Teilabschnitte voneinander unterscheiden.

Ein weiterer Schwerpunkt von Larrouy-Maestris Forschung ist die Frage, ob musikalische Laien in der Lage sind, schiefe Töne in Liedern festzustellen – und welche kognitiven Prozesse dabei beteiligt sind. Eine Erkenntnis: Man muss kein Profimusiker sein, um falsche Töne in einem Musikstück zu entdecken. Ebenso wenig ist es notwendig, ein Expertengehör zu haben, um herauszuhören, ob ein Sänger oder eine Sängerin in der korrekten Tonhöhe singt. Praktisch jeder kann Gehörtes in richtig oder falsch einordnen – unabhängig von der jeweiligen Musik.

„Man muss kein Profimusiker sein, um falsche Töne in einem Musikstück zu entdecken.“

PAULINE LARROUY-MAESTRI





Kleinteilige Verarbeitung: Damit wir verstehen, was jemand sagt, muss unser Gehirn jedes Detail wahrnehmen. In Zeitfenstern, die nur 20 bis 80 Millisekunden lang sind, wird das Gehörte analysiert. Das entspricht in etwa der Länge einzelner Silben.

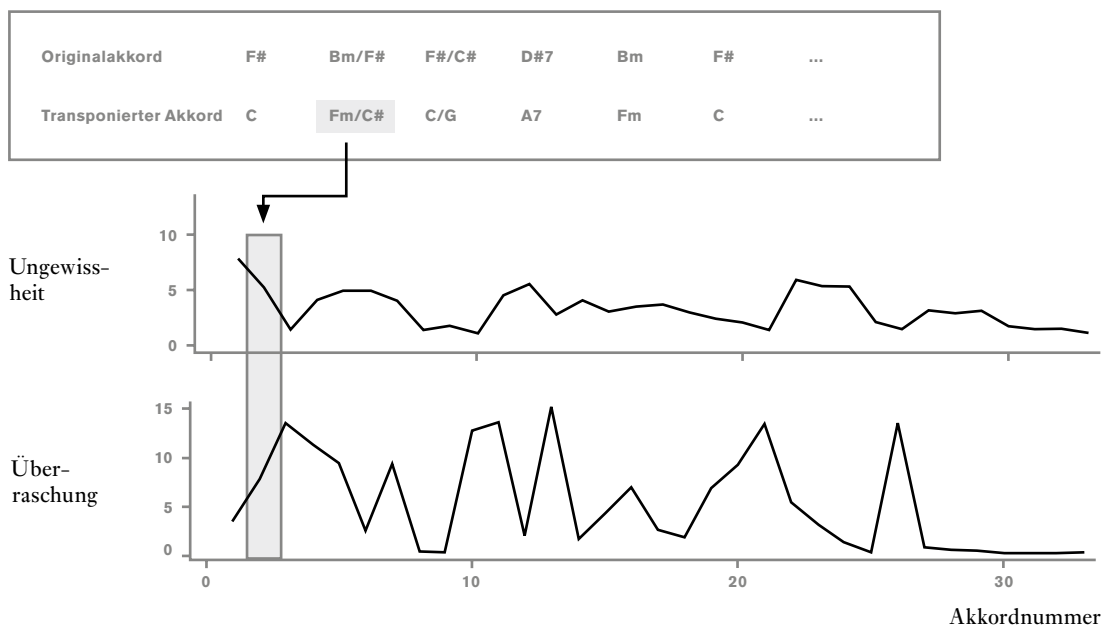
Wie David Poeppel beginnt auch Pauline Larrouy-Maestri ihre Forschung meist mit Alltagsbeobachtungen. Man macht das Radio an, wechselt vielleicht ein paarmal den Sender, bis man ein Lied findet, das man gern hören mag. „Egal welche Art von Geräusch wir wahrnehmen, wir können sofort sagen, ob wir es mögen oder nicht. Erstaunlicherweise besitzt jeder diese Fähigkeit. Und ich habe mich gefragt: Wie kann das sein?“ Um darauf eine Antwort zu finden, greift Larrouy-Maestri bei ihren Experimenten auf natürliche Musik zurück. „Wir laden Freiwillige – professionelle Sänger oder Laienmusiker – in unser Labor ein und bitten sie, uns etwas vorzusingen.“ Andere Freiwillige sollen dann die Performance beurteilen.

In einer weiteren Studie versuchte Larrouy-Maestri herauszufinden, welche Faktoren die Wahrscheinlichkeit bestimmen, ob eine Melodie als angenehm oder eher unangenehm empfunden wird. Bei Gesang zählt dazu, ob die Melodie korrekt wiedergegeben wird, zum Beispiel wie genau die einzelnen Tonhöhen ge-

troffen werden. Die Genauigkeit ist jedoch nicht das einzige Kriterium. Die Geschwindigkeit der Musik scheint ebenfalls eine Rolle zu spielen. Weder sehr schnelle noch sehr langsame Musik wird von der Mehrheit als angenehm empfunden. Das könnte damit zusammenhängen, wie das menschliche Gehirn Musik generell verarbeitet. Diese zugrunde liegenden Mechanismen versucht Larrouy-Maestri zu entschlüsseln, um so herauszufinden, was Menschen dazu bringt, etwas gut oder schlecht zu finden. „Ich versuche nicht, den geheimen Code zu knacken und den perfekten Song zu kreieren, den jeder mag. Mich interessiert vielmehr, wie Zuhörer zu dem Schluss kommen, dass ihnen dieses oder jenes Stück besonders gut gefällt“, sagt die Wissenschaftlerin.

Was ein erfolgreicher Hit im menschlichen Gehirn auslöst – diesem Geheimnis ist wiederum ein Forschungsteam am Max-Planck-Institut für Kognitions- und Neurowissenschaften in Leipzig auf der Spur. Vincent Cheung, Doktorand am Institut, ist





Wissenschaftlicher Soundcheck: Mit Hilfe eines lernenden Algorithmus analysierten Leipziger Forscher die Akkordfolgen von 745 Superhits aus den USA. Für bessere Vergleichbarkeit wurden die Originalakkorde transponiert. „Ungewissheit“ bedeutet, dass sich der nächste Akkord nicht gut vorhersagen lässt. „Überschung“ zeigt an, wie sehr der eben gehörte Klang von den Erwartungen abweicht.

38 nicht nur großer Musikfan, sondern spielt auch selbst Geige. Er wollte wissen, warum bestimmte Stücke ihn und andere Fans so besonders berühren. Gemeinsam mit Stefan Koelsch suchte er nach dem Erfolgsrezept von Songs wie „Yesterday“ von den Beatles, „Nutbush City Limits“ von Tina Turner oder „The Look“ von Roxette – und wurde fündig. Mit Hilfe eines maschinellen Lernmodells analysierten die beiden 745 Superhits der US-Billboard-Charts aus den Jahren 1958 bis 1991. Dafür entfernten sie Elemente wie Text und Melodie aus den Stücken, sodass nur die Akkordfolgen übrig blieben. Wer Gitarre spielt, kennt solche Drei- und Mehrklänge aus der Begleitung von Liedern. Vom Hören sind sie wohl den meisten Menschen in der westlichen Welt vertraut, denn bestimmte Akkordfolgen finden sich seit Langem auf ähnliche Art und Weise in der westlichen Musik – vom einfachen Volkslied bis hin zur modernen Popmusik.

Die Wissenschaftler berechneten nun, wie vorhersehbar oder überraschend die Akkordfolgen in den jeweiligen Hits sind, und untersuchten die Reaktionen von Testpersonen auf die Klangfolgen. Das Ergebnis: Am größten ist der Hörerfolg, wenn es immer wieder Überraschungen gibt, aber zugleich nicht zu viel Ungewissheit entsteht. Waren die Zuhörer relativ sicher, welche Akkorde als Nächstes erklingen würden, fanden sie es angenehm, wenn sie stattdessen überrascht wurden – wenn ihre Erwartungen also verletzt wurden. Waren sie dagegen unsicher, was als Näch-

tes kommt, war es ihnen lieber, wenn die nachfolgenden Akkorde sie nicht überraschten. Untersuchungen der Probanden mithilfe funktioneller Magnetresonanztomografie untermauerten das Ergebnis: Der Nucleus accumbens, die Gehirnstruktur, die für die Erwartung von Glücksgefühlen zuständig ist, reagierte bei den Testpersonen nur dann, wenn sie besonders gespannt waren, wie die Musik weitergeht.

Aber natürlich ist nicht alles, was uns zu Ohren kommt, angenehm – unser Hörsystem dient zum Beispiel auch dazu, uns vor Gefahren zu warnen. Auch damit beschäftigen sich die Forschenden am Max-Planck-Institut für empirische Ästhetik. David Poeppel hat viel Aufmerksamkeit mit einer Studie erregt, in der er untersuchte, warum Schreie uns bis ins Mark erschüttern. Wieder so eine Frage, die einfach klingt, bis man sich auf die Suche nach einer Antwort macht. „Jeder kennt Schreie, und jeder hat eine ungefähre Vorstellung davon, was Schreie ausmacht – sie sind

AUF DEN PUNKT GEBRACHT

Das Gehirn analysiert gesprochene Sprache in verschiedener zeitlicher Auflösung, um sowohl einzelne Laute als auch größere Zusammenhänge verstehen zu können.

Musik wird in ähnlicher Weise vom Gehirn verarbeitet: Dazu wird ein Musikstück in einzelne Bestandteile wie Melodien, Akkorde und Noten zerlegt.

Profimusiker können musikalische Strukturen teilweise besser erkennen als Menschen ohne musikalische Ausbildung. Aber auch Laien erkennen falsche Töne oder manipulierte Harmonien.

Beliebte Songs zeichnen sich durch eine Mischung vorhersehbarer und überraschender Akkordfolgen aus.


laut, hoch und schrill“, beschreibt Poeppel den Ausgangspunkt seiner Analyse. In mehreren Studien, die er gemeinsam mit seinem New Yorker Kollegen Adeen Flinker sowie Luc Arnal, Andreas Kleinschmidt und Anne-Lise Giraud von der Universität Genf durchführte, fand das Team eine akustische Besonderheit, die nur Schreie aufweisen.

„Schreie haben ein Merkmal, das als ‚Rauigkeit‘ bezeichnet wird“, erklärt Poeppel. „Rauigkeit entsteht, wenn Geräusche durch Änderung der Amplitude eine bestimmte zeitliche Struktur erhalten. Wenn diese Änderungen sehr schnell erfolgen, ist das Gehör nicht mehr in der Lage, diese zeitlichen Veränderungen aufzulösen – man empfindet ein solches Geräusch dann als rau und damit als unangenehm.“ Normale Sprache hat eine Modulationsfrequenz von etwa vier bis fünf Hertz, für Rauigkeit liegt die Frequenz dagegen zwischen 30 und 150 Hertz – die Veränderungen sind also wesentlich schneller.

In einer Studie erstellte das Forschungsteam eine Geräuschdatenbank, die viele verschiedene Arten von menschlichen Lauten, etwa Schreie und Sätze, und

künstliche Töne, zum Beispiel den Alarm eines Weckers, umfasste. Dabei fanden sie heraus, dass sowohl Schreie als auch künstliche Töne wie die des Alarms eines Weckers und dissonante Intervalle, etwa eine unreine Quinte, in den Frequenzbereich der Rauigkeit fallen – ein Ergebnis, das zeigt, dass die Hersteller von Weckern mit ihrem Alarmton sehr gut die Modulation eines menschlichen Schreies nachempfunden haben.

Der Schall, den wir wahrnehmen, kann also von verschiedenster Bedeutung für uns sein. Es ist eine enorme Leistung des Gehirns, nicht nur verschiedene Schallquellen zu unterscheiden, sondern auch zu filtern, was gerade wichtig für uns ist, und das Gehörte richtig zu entschlüsseln. Auch wenn die Forschung in den vergangenen Jahren zahlreiche neue Erkenntnisse gewonnen hat, sind auch grundlegende Rätsel noch nicht gelöst, wie David Poeppel betont – etwa das der Interaktion von Schall und Gedächtnis. Es bedarf also noch vieler kluger Köpfe und Visionäre, die die richtigen Fragen stellen.

 www.mpg.de/podcasts/schall



ANZEIGE



//

Es gibt viele Magazine für die deutsche Wissenschaft: Jede Hochschule, jede außeruniversitäre Einrichtung, jede Institution der Forschungsförderung, jede Stiftung präsentiert in ihnen das je eigene Profil. Hinzu kommen die Wissenschaftsseiten der großen Zeitungen und sehr gute Blogs, die die Forschung kritisch begleiten. Die DUZ aber kann und macht alles: Sie ist Fundus und Dach, Seismograph und Reflektor. Sie zeigt Forschung, Lehre, Transfer, Administration. Und die Geschichten und Gesichter, die dahinterstehen.

//



Prof. Dr. h.c. Jutta Allmendinger, Ph.D.
Präsidentin des Wissenschaftszentrums Berlin für Sozialforschung (WZB)

DUZ

MAGAZIN
FÜR WISSENSCHAFT
UND GESELLSCHAFT

DER DIALOG, EIN FORUM, DIE DUZ.

3 AUSGABEN FÜR 15 EURO IM KENNENLERN-ABO

SHOP.DUZ-MEDIENHAUS.DE/DM-TESTEN.HTML





MIT DER RICHTIGEN PEILUNG

TEXT: UTA DEFFKE



FOTO: AXEL GRIESCH

Trügerische Ruhe:
Nur mit viel Technik
kann Holger Goerlitz
die Ultraschalllaute
von Fledermäusen
hörbar machen.

Zwei Schatten umschwirren sich in der Abenddämmerung. In einem wilden Tanz von Jäger und Beute jagt eine Fledermaus einen Nachtfalter. Eine Verfolgungsjagd wie diese lässt das Herz von Holger Goerlitz höherschlagen. Der Leiter einer Emmy Noether-Forschungsgruppe am Max-Planck-Institut für Ornithologie in Seewiesen erforscht, wie sich Fledermäuse und Insekten mithilfe von Schall gegenseitig wahrnehmen.

Viele Tiere können hören. Schall kann sehr weit tragen, und er wird von Hindernissen kaum abgeschirmt. Gerade nachtaktive Tiere verlassen sich auf ihr Gehör, denn anders als die Augen funktionieren Ohren auch in der Dunkelheit.

Fledermäuse sind ein Paradebeispiel dafür, zu welchen außerordentlichen Leistungen das Gehör fähig sein kann. Die Tiere senden Laute aus und analysieren die Echos, die von der Umgebung zurückgeworfen werden. Dafür nutzen sie meistens Ultraschall – also Frequenzen, die oberhalb des Hörbereichs des Menschen liegen. „Für uns sind die Laute der Fledermäuse daher zumeist unhörbar. Trotzdem kann man den Begriff ‚Laute‘ wörtlich nehmen, denn die Lautstärke von Fledermausrufen erreicht den Pegel von Pressluftschlämmern oder sogar Düsenjets“, sagt Holger Goerlitz. Anhand der Zeitspanne vom Aussenden des Rufes bis zum Eintreffen des Echos berechnen Fledermäuse die Entfernung eines Objekts. Schwankungen in der Frequenz – also der Tonhöhe –, der Dauer und der Lautstärke des Echos verraten den Tieren, ob das Objekt groß ist oder klein, glatt oder rau, ruhig steht oder mit den Flügeln schlägt. Auf diese Weise können sie Hindernisse identifizieren, potenzielle Beutetiere ausfindig machen und sogar mit Artgenossen kommunizieren. In der Natur ist dies nicht ganz einfach, denn Fledermäuse bewegen sich auf ihren nächtlichen Beuteflügen in komplexen Klangwelten: Artgenossen und Angehörige anderer Fledermausarten rufen, Nachtfalter fliegen umher, Laubheuschrecken singen, am Boden rascheln Käfer, und in den Blättern säuselt der Wind.

Um die Ortungs- und Kommunikationsstrategien von Fledermäusen und ihrer Beute zu untersuchen, beobachten Goerlitz und sein Team die Tiere in freier Wildbahn und in Laborexperimenten. In einem Dorf im Nordosten von Bulgarien betreibt die Gruppe eine kleine Forschungsstation. In der dortigen Karstlandschaft haben sich Flüsse tief in den Felsen eingegraben und an den Rändern unzählige Höhlen entstehen lassen. Hier finden zahlreiche Fledermausarten Unterschlupf und Nahrung. „Ein ideales Revier für Feldforschung und Laborexperimente“, schwärmt Holger Goerlitz.

Die Forschenden fangen die Jäger der Nacht beim Aus- oder Einflug in die Höhlen und bestücken sie mit Sensoren. Weil Fledermäuse nachtaktiv sind, finden die Experimente meistens in den ersten Stunden nach Einbruch der Abenddämmerung statt. Mit Ensembles aus vier bis 22 Mikrofonen können die Forscher und Forscherinnen die Rufe vorbeifliegender Fledermäuse aufnehmen und Flugwege und Rufrichtung analysieren. Aus den minimalen Unterschieden in der Ankunftszeit des Schalls berechnen sie die Position der Tiere im Raum. Mikrofone an Beutetieren wiederum messen, was diese von den anfliegenden Angreifern hören. Und dann heißt es abwarten –

eingehüllt in mehrere Lagen Pullover, denn selbst im Frühjahr und in den Herbstmonaten kann es im nördlichen Bulgarien nachts empfindlich kalt werden. „Am beeindruckendsten ist es, wenn es noch nicht ganz dunkel ist, sodass wir die Fledermäuse und ihr Verhalten gerade noch selber beobachten können“, berichtet Goerlitz.

Manche Experimente können die Forschenden jedoch nur im Labor durchführen. An der Station in Bulgarien wie auch am Max-Planck-Institut in Seewiesen nutzen die Forscher hierfür mit Lautsprechern und Mikrofonen ausgestattete, schallisolierte Flugräume – angepasst an den Rhythmus der Tiere natürlich in absoluter Dunkelheit. Die Laborexperimente haben den Wissenschaftlern gezeigt, dass die Fledermäuse ihre Echoortung spezifisch an die jeweilige Umgebung und Aufgabe anpassen. Im freien Luftraum rufen sie gleichmäßig auf tiefen Frequenzen, denn diese tragen besonders weit. Dadurch können sie Hindernisse und Beute über größere Entfernungen hinweg aufspüren. In enger Umgebung, beim Landeanflug oder bei der Annäherung an eine Beute werden die Rufe dagegen kürzer, enthalten mehr Frequenzen und werden öfter wiederholt. Damit optimieren die Tiere verschiedene Aspekte der Echos und gewinnen daraus mehr und exaktere Informationen. „Fledermäuse verraten uns also mit ihren Rufen, woran sie gerade interessiert sind“, sagt Goerlitz.

Welche Strategien Fledermäuse bei der Annäherung an Beutetiere verfolgen, können die Forscher seit kurzem auch mithilfe von tragbaren Miniatur-Messstationen untersuchen. Diese mit Sensoren bestückten Geräte auf dem Rücken der Tiere sammeln nächtelang Daten über das natürliche Verhalten der Tiere in freier Wildbahn. Auf diese Weise haben Goerlitz und ein internationales Team von Kollegen herausgefunden, wie die Fledermäuse Beute von anderen Objekten im Hintergrund unterscheiden können: „Kurz vor dem Angriff verschwindet das Hintergrundecho, und die Beschleunigungssensoren schlagen aus. Die Tiere drehen sich folglich kurz vor dem Angriff vom Hintergrund weg und zur Beute hin. So lassen sie den Hintergrund hinter sich und nehmen die Beute in den Fokus“, erklärt Goerlitz. Die Beutetiere sind

AUF DEN PUNKT GEBRACHT

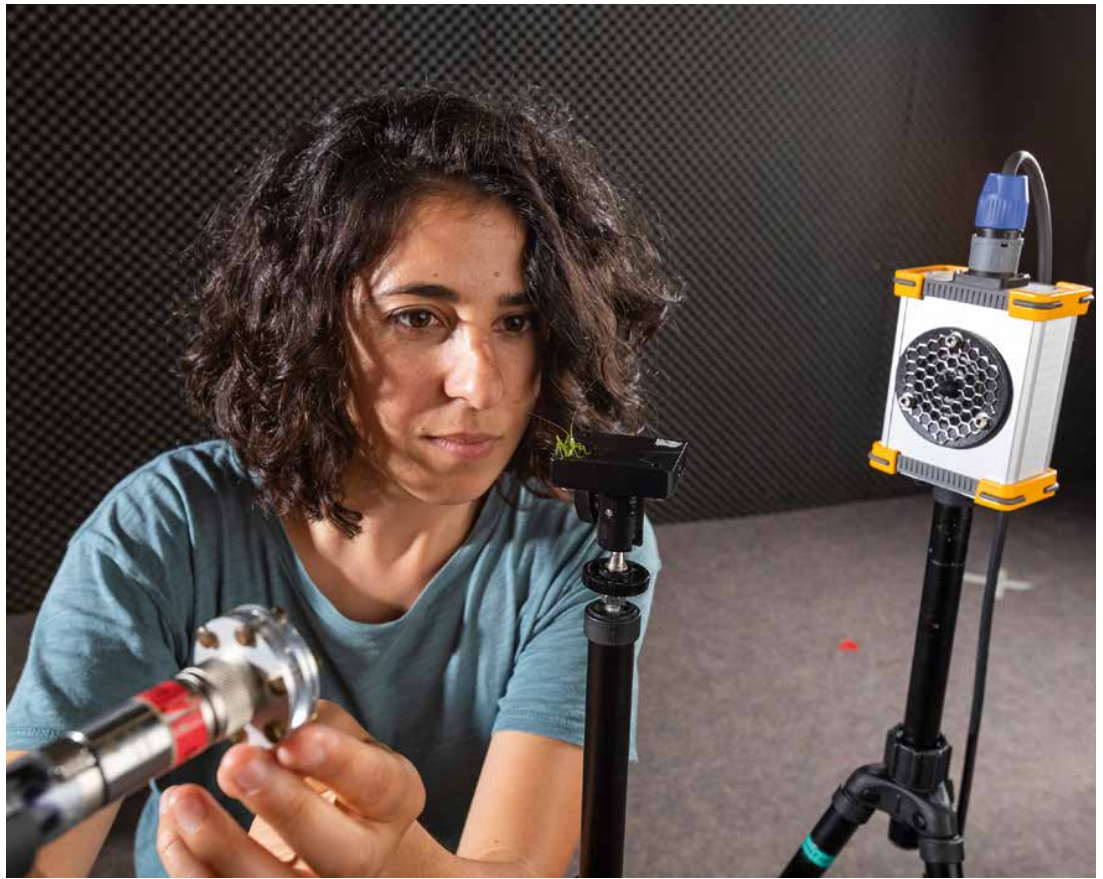
Fledermäuse orientieren sich mithilfe von Ultraschalllauten. Aus der Zeitspanne zwischen Ruf und Echo berechnen sie die Entfernung eines Objekts. Dessen Größe, Oberflächenstruktur und Position ergeben sich unter anderem aus Änderungen in der Frequenz, Dauer und Lautstärke des Echos.

Die Beutetiere haben sich an die Ortung der Fledermäuse angepasst: Nachtfalter hören in den Frequenzbereichen ihrer Jäger besonders gut und fliegen Ausweichmanöver. Laubheuschrecken passen ihren Gesang ebenfalls an die Angriffe durch Fledermäuse an.

Das Gehör von Nachtfaltern und Heuschrecken ist zum Zweck der Kommunikation mit der Umwelt und den Artgenossen entstanden und nicht als Reaktion auf die Echoortung.

Rechts:
Im Labor spielt
Antoniya
Hubancheva einer
Laubheuschrecke
Jagdrufe einer
Fledermaus vor und
misst anschließend
die Reaktion des
Insekts.

Unten:
Die meisten
Fledermäuse sind
sehr zarte Geschöpfe.
Eine junge Kleine
Lanzennase wie die
in der Hand von
Holger Goerlitz wiegt
nur etwa 15 Gramm.





Das Große Mausohr kann
Nachtfalter und
Heuschrecken selbst in
absoluter Dunkelheit
lokalisieren. Es nutzt
dafür Echoortung und
sein feines Gehör.



Kleine und Große Mausohren, Langflügel fledermäuse und Langfußfledermäuse in der Gabarnika-Höhle. Die Tiere bilden riesige Kolonien aus Zehntausenden Artgenossen. In den Karsthöhlen im Nordosten Bulgariens ziehen sie ihre Jungen auf und überwintern dort auch.

den Attacken der Fledermäuse aber nicht wehrlos ausgeliefert: Nachtfalter zum Beispiel können die Echoortungslaute der Fledermäuse hören und reagieren mit raffinierten Ausweichmanövern auf die Angreifer. Und das, obwohl die Insekten ein sehr einfach aufgebautes Ohr besitzen. Es besteht lediglich aus einem Trommelfell und zwei Nervenzellen mit unterschiedlicher Empfindlichkeit. Dadurch können die Falter zwar einen breiten Frequenzbereich wahrnehmen und eine angreifende Fledermaus hören, aber keine einzelnen Frequenzen unterscheiden.

Zusammen mit einer Kollegin aus den USA hat Goerlitz herausgefunden, dass das Gehör der Insekten an die lokale Fledermausgemeinschaft angepasst ist. Kommen beispielsweise in einer Region zusätzliche Arten vor, die mit hoher Frequenz rufen, so sind auch die Ohren der Falter in diesem Frequenzbereich empfindlicher. Auf einen Fledermausangriff reagieren die Falter mit einem zweistufigen Ausweichmanöver: Ist die Fledermaus noch weit entfernt, ihr Signal also relativ leise, versuchen sie auf geradem Wege zu entkommen. Kommt der Räuber näher und werden seine Raufe lauter, fliegen die Insekten im Zickzack, in Spiralen oder lassen sich auf den Boden fallen. Diese Variation in den Ausweichmanövern erschwert Jägern die Jagd auf ihre Beute. Die Forscherinnen und Forscher wollen herausfinden, ob Nachtfalter

unterschiedliche Ausweichmanöver einsetzen und welche am erfolgreichsten sind. Es wäre zum Beispiel möglich, dass jeder Falter alle Fluchtstrategien beherrscht. Vielleicht verfügen Falter aber auch nur über eine davon – die Vielfalt der Ausweichmanöver wäre dann ein Gruppenphänomen. Dies haben die Wissenschaftler mit hochempfindlicher Technik im Labor untersucht und die Reaktion von sieben Nachtfalterarten auf eingespielte Ortungsrufe von Fledermäusen gemessen. Dabei zeigte sich, dass jede Falterart anders manövriert. Bei manchen Arten unterscheiden sich auch einzelne Tiere voneinander. „Da in einem Habitat mehrere Nachtfalterarten vorkommen, ist dies eine erfolgreiche Strategie gegen die Angreifer, da eine Fledermaus die verschiedenen Falterarten wohl nicht unterscheiden kann. Somit weiß sie nicht, wie die Beute reagieren wird“, sagt Goerlitz.

Bislang kennen die Forschenden nur die Eigenschaften der beiden Nervenzellen, die dem Ohr der Falter direkt nachgeschaltet sind. Sie wissen aber kaum, was im Gehirn mit diesen Informationen geschieht. Goerlitz und sein Team wollen daher auch die neuronalen Grundlagen solcher Verhaltensweisen entschlüsseln. „Wie werden zum Beispiel die Eingänge vom linken und rechten Ohr zusammengeschaltet? Oder wie lange dauert es vom Eingang des Schalls bis zur Reaktion, und wie wird das Gehör von anderen

Für ihre Untersuchungen müssen die Forschenden Fledermäuse auch im Labor untersuchen. Dazu fangen sie die Tiere in feinen Netzen, aus denen sie sie dann anschließend vorsichtig herauslösen.



FOTO: STEFAN GREIF

Reizen wie Licht oder den Lockstoffen von Weibchen beeinflusst?“ Welche Strategien Beutetiere entwickelt haben, um ihre Räuber zu überlisten, untersuchen Holger Goerlitz und seine Gruppe auch an Laubheuschrecken. Diese kommunizieren selbst über Töne miteinander. Da die Heuschrecken sich damit gegenüber Fledermäusen verraten können, die nicht nur aktiv Ortungslaute aussenden, sondern auch passiv Geräusche wahrnehmen, müssen sie ihre Kommunikation an die nächtlichen Jäger anpassen. Manche Heuschrecken stellen deshalb ihr nächtliches Zirpen ein, wenn Fledermäuse in der Nähe sind. Andere lassen sich dagegen von den umherschwirrenden Jägern nicht aus der Ruhe bringen und singen unbeirrt weiter. „Interessanterweise sind das Arten, die schnell und mit hohen Frequenzen zirpen. Möglicherweise überlagern sich ihre Laute so mit den Echos der Umgebung, dass die Fledermäuse sich nicht mehr gut orientieren können“, sagt Holger Goerlitz.


Erste Labordaten scheinen das zu bestätigen: Hören Fledermäuse via Lautsprecher den Gesang von Laubheuschrecken, sind sie beim Beutefang weniger erfolgreich. Wenn mehrere Heuschrecken gleichzeitig singen, könnte es zudem zu einer Art Stereoeffekt wie bei unseren Stereoanlagen kommen: Obwohl derselbe Schall aus zwei Quellen (Lautsprechern) stammt, nehmen wir nicht zwei getrennte Schallquellen wahr.

Stattdessen lokalisieren wir den Schall in der Mitte. Ähnlich geht es den Fledermäusen. Dadurch fällt es den Jägern schwerer, die Beute als einzelne Individuen wahrzunehmen und zu orten.

Bei den Beutetieren haben die Forschenden also verschiedene Anpassungen an die Jagdmethoden der Jäger beobachtet. Haben die Fledermäuse darauf reagiert, gibt es also eine Art Wettrüsten zwischen Jägern und Gejagten? „Viele Jahre lang hat man das geglaubt. Lehrbücher haben Fledermäuse und Nachtfalter als klassisches Beispiel einer Koevolution zwischen Räuber und Beute angeführt“, so Goerlitz. Eine seiner Entdeckungen schien diese Auffassung zunächst zu bestätigen: So rufen Mopsfledermäuse, die sich auf die Jagd von hörenden Nachtfaltern spezialisiert haben, zehnmal leiser als andere Arten. Und je näher sie dem Falter kommen, desto leiser werden sie. Auf diese Weise gelingt es den Tieren, das Gehör ihrer Beute zu überlisten und den Falter zu fangen. Diese Jagdstrategie hat aber den Nachteil, dass die Mopsfledermaus nur leise Echos ihrer Umgebung erhält und somit beinahe im Blindflug unterwegs ist. Dass sie dies in Kauf nimmt, könnte darauf hindeuten, dass der Vorteil bei der Nahrungssuche diese Nachteile ausgleicht.

Inzwischen glaubt Goerlitz das nicht mehr und untersucht eine alternative Erklärung. Viele nahe Verwandte der Mopsfledermaus suchen an Waldrändern, Gebüsch und über Wiesen nach Beute, indem sie auf die Raschelgeräusche der Insekten lauschen. So nahe an der Vegetation erzeugen laute Ortungsrufe auch laute Echos der Vegetation. Diese verdecken die leisen Raschelgeräusche der Insekten. Möglicherweise wollten die Vorfahren der Mopsfledermaus das verhindern und begannen deshalb, leiser zu rufen. Die Vorteile für die Jagd auf hörende Beute im freien Luftraum wären dann also mehr ein Nebeneffekt gewesen, den die Mopsfledermaus erst später ausnutzte. Auch bei den Nachtfaltern gingen Forschende lange Zeit davon aus, dass sich ihr Gehör als Reaktion auf die Fledermäuse entwickelt hat. Inzwischen gibt es Hinweise darauf, dass die Falter möglicherweise schon Millionen Jahre vor dem Aufkommen von Fledermäusen hören konnten. Wenn das stimmt, wäre das Gehör zur Kommunikation und Wahrnehmung der Umwelt entstanden und nicht als spezielle Reaktion auf die nächtlichen Räuber. „Das Beispiel zeigt, dass die Ursache für eine evolutionäre Entwicklung oftmals nur schwer mit Sicherheit zu ermitteln ist“, sagt Goerlitz.

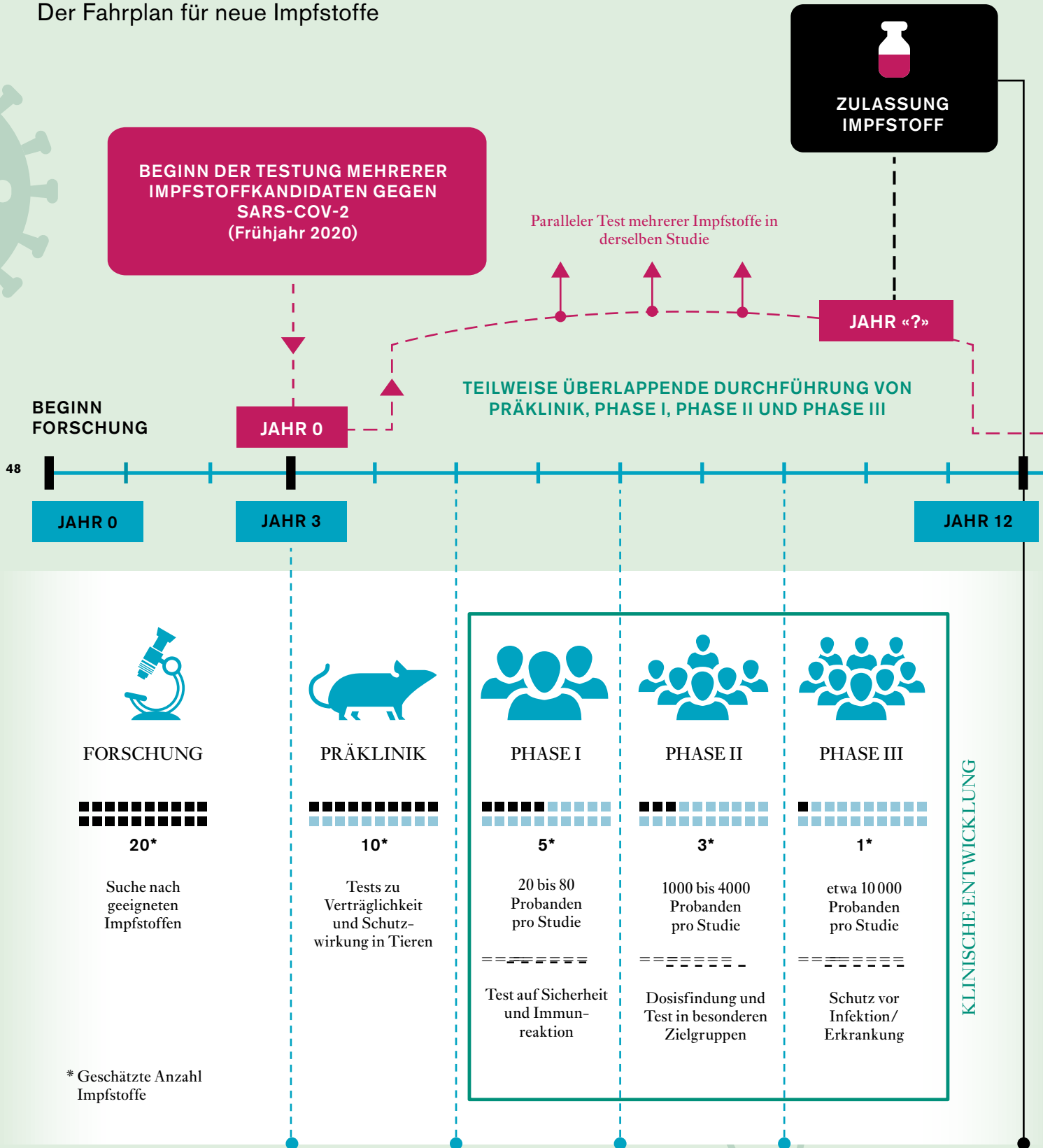
Die Tatsache aber, dass sich die Falter stärker an die Fledermäuse angepasst haben als umgekehrt, hat für Goerlitz einen ganz einfachen Grund: „Für die Beute ist der Erfolgsdruck viel höher, denn für sie geht es um nicht weniger als das nackte Überleben. Für den Jäger geht es dagegen nur um eine weitere Mahlzeit.“

 www.mpg.de/podcasts/schall



WETTLAUF MIT DEM VIRUS

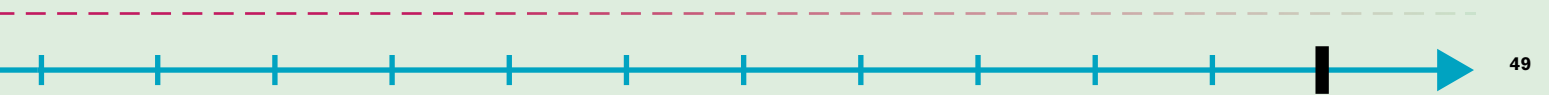
Der Fahrplan für neue Impfstoffe



Neue Impfstoffe müssen sich in aufwendigen Untersuchungen bewähren, bevor sie auf den Markt kommen. Nur einer von 20 Kandidaten besteht alle Tests. In umfangreichen Studien soll sichergestellt werden, dass Menschen ausschließlich wirksame und sichere Impfungen erhalten. In Notfällen wie der Corona-Krise 2020 versuchen Forscher, die Entwicklung eines Impfstoffes zu beschleunigen.

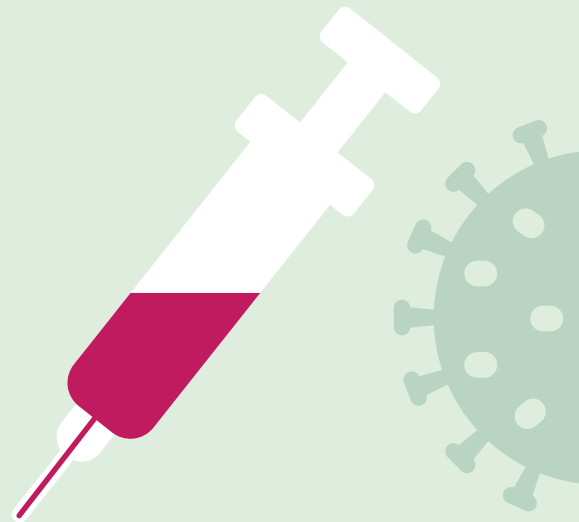


- Impfstoffentwicklung Sars-CoV-2
- Impfstoffentwicklung allgemein



„Die Zeit bis zu einem Impfstoff gegen Sars-CoV-2 könnte von zehn Jahren auf ein Jahr verkürzt werden.“

Prof. Stefan H. E. Kaufmann
Max-Planck-Institut für Infektionsbiologie



STREITERIN FÜR DIE MENSCHENRECHTE

Mariela Morales Antoniazzi hat Korruption in Lateinamerika bekämpft und Bürgerinnen und Bürger in Bewegung gesetzt. Heute erforscht die in Venezuela geborene Juristin am Max-Planck-Institut für ausländisches öffentliches Recht und Völkerrecht in Heidelberg, warum Menschenrechte die Voraussetzung jeder Demokratie sind – und wie man sie verteidigt.

50

TEXT: MARTIN TSCHECHNE

„Sie können natürlich verzweifeln“, sagt Mariela Morales Antoniazzi. „Aber wem hilft das weiter?“ Am Amazonas brennt der Regenwald. Es geht um Weideland und Anbauflächen für eine über alles Maß hinaus wuchernde Agrarindustrie. Die Areale sind so riesig, dass sie auf Satellitenfotos aus dem Weltall zu erkennen sind. In Argentinien werden Frauen zu Opfern des Machismo. Alle 30 Stunden melden die Behörden einen Mord; der Täter ist nahezu immer ein Liebhaber oder der Ehemann. In Mexiko erinnern Demonstrationen an die 43 Studenten, die vor sechs Jahren in der Stadt Iguala spurlos verschwunden sind. Sie waren nicht die Einzigen, und sie werden nicht die Letzten gewesen sein. Das Land sei „ein einziges Massengrab“, zitiert die *Zeit* eine Beobachterin. Wie viele Menschen bis heute verschleppt und ermordet worden sind, das weiß niemand. Schätzungen gehen an die 60 000.

Menschenrechte? Eine Chance auf Bildung und Wohlstand, auf Gesundheit, Teilhabe, Presse-

freiheit? „Man könnte verzweifeln“, sagt die Juristin noch einmal. Aber Resignation entspräche nun wirklich nicht ihrem Temperament.

In Chile setzt die Polizei Schusswaffen gegen Demonstranten ein. Bevorzugtes Ziel der Carabineros sind die Augen. In Brasilien spielt Präsident Jair M. Bolsonaro die Gefahr von Corona herunter, leichtfertig und zynisch. Das M. in seinem Namen steht für „Messias“, doch die Bewohner der dicht bevölkerten Slums von Rio de Janeiro, der Favelas, haben gegen die Pandemie keine Chance. In Venezuela ringen zwei Männer um den Posten des Präsidenten: Machthaber Nicolás Maduro und Oppositionsführer Juan Guaidó, der von rund 50 Staaten offiziell anerkannt wird, darunter die USA und die Mehrheit der EU-Länder. Venezuela stand einmal auf Platz fünf der Erdölexporture. Heute taumelt es dem Ruin entgegen; das Volk hungert. Fünf Millionen Menschen sind schon geflohen. Die meisten in die Nachbarländer, wo es ihnen als Migranten auch nicht besser geht.

—>

BESUCH BEI

MARIELA MORALES
ANTONIAZZI



FOTO: KATHARINA DUBNO

Juristin mit Temperament: Mariela Morales Antoniazzi hat es sich zur Aufgabe gemacht, mit ihrer Forschung die Lebensbedingungen der Menschen in Lateinamerika zu verbessern.



FOTO: REUTERS / CHRISTIAN VERON

52

Proteste in Caracas: Nachdem der venezolanische Präsident Nicolás Maduro im März 2017 das Parlament entmachtet hatte, demonstrierten Zehntausende Venezolaner gegen eine drohende Diktatur. Der Staat reagierte mit Repressalien.

Mariela Morales klopft zum Stakkato ihrer Klagen mit dem Finger auf die Tischkante. Kolumbien, Honduras, Nicaragua. Venezuela ist ihr Heimatland. Sie hat dort studiert, war politisch aktiv, hat Karriere gemacht. Mit der Polizei hat sie sich angelegt, um die böse Routine der Korruption zu stören – ganz einfach indem sie GPS-Navigation in die Streifenwagen einbauen ließ. Von da an wusste der Beamte in der Zentrale immer, wo seine Wachleute ihre Kreise zogen, wo sie stehen blieben und vielleicht an eine Hintertür klopfen. Sie hat harte Kerle in Uniform unter den Augen von Psychologen malen lassen, was ihnen bei der Arbeit auf der Seele liegt. Sie spricht live im Internet vor 6000 Studierenden in Mexiko, verbreitet ihre Seminare zum Menschenrechtssystem der Organisation Amerikanischer Staaten online und bringt Bücher heraus – 24 sind es bis heute, in denen sie Lateinamerika zu einem Notstandsgebiet der politischen Moral erklärt. Eine ganze

Region zugrunde gerichtet durch Diktatur und Hyperpräsidentialismus, durch Misswirtschaft, Drogenhandel und Bürgerkrieg.

Ein Thema für die Wissenschaft? „Absolut“, sagt sie. „Dringend sogar!“ Sie selbst hat einen langen Anlauf genommen: war Innenministerin und stellvertretende Ministerpräsidentin des Bundesstaats Aragua, Polizeichefin, Lehrbeauftragte an der Katholischen Universität Andrés Bello und an der Zentralen Universität Venezuela in der Hauptstadt Caracas, Gründerin einer Bürgerbewegung für den Wandel im Land, Beraterin der Regierung, Kämpferin und Koordinatorin. Doch für so viel Entschlossenheit und beinahe trotzigem Mut tritt Mariela Morales erstaunlich gewinnend auf, offen und charmant. Ein sonnenblumengelbes Jäckchen, eine Schmetterlingsbrille im Retrolook; den Tisch im Konferenzraum des Heidelberger Max Planck-Instituts für

ausländisches öffentliches Recht und Völkerrecht hat sie mit Blumen und Deckchen dekoriert und einen Flan aus der eigenen Küche daraufgestellt. „Mit Kokosmilch“, erläutert sie und strahlt. „Darin unterscheidet sich der lateinamerikanische Eierpudding von seiner spanischen Variante. Müssen Sie probieren!“

Sie hat es erlebt, immer wieder, dass dieser Teufelskreis aus Machtgier und Korruption sich aufbrechen lässt. Den Fall Velásquez Rodríguez gegen Honduras zitiert sie, Menschenraub und Mord durch ein korruptes Regime, und zählt weiter auf: Karen Atala vs. Chile, Maria da Penha vs. Brasilien, González und andere vs. Mexiko. Die Liste wird lang, und jeder Name erzählt die Geschichte einer erfolgreichen Auflehnung: gegen die Misshandlung und Ermordung von Frauen, gegen die Ausbeutung indigener Gruppen, die Zerstörung der Natur, die Diskriminierung von Homosexuellen, Afroamerikanern, Migranten oder Journalisten. Gegen die verbreitete Praxis, Menschen zu entführen und zu töten, gegen die Rechtlosigkeit

cherheit war eine Botschaft an das Volk, vielleicht auch ein Experiment. Mag sein, dass die Verantwortung für Polizei, Zivilschutz und Feuerwehr doch ein bisschen plötzlich kam. Nach zwei Wochen im Amt wollte Mariela Morales aufgeben: „Sie brauchen eine Politikerin“, habe sie ihrem Chef entgegengeschleudert, „aber keine Professorin!“ Die alten Kader übrigens, ihre Gegner, sahen es ganz ähnlich.

Sie blieb dann doch. Erkannte ihre Chance und packte an. Ließ also Ortungssysteme in Polizeiautos bauen, strich den Beamten lukrative Nebenjobs als Sicherheitsberater und kümmerte sich um besser ausgebildetes Personal. Geld gab es genug; die staatliche Ölförderung ließ es sprudeln. Widerstand brach sie auf durch freundliches Entgegenkommen. Keine Zeit heute? Dann eben morgen, jederzeit! Die föderale Ordnung ihres Landes kam ihr entgegen. „Die Macht war da, wo sie Veränderung bewirken konnte“, sagt sie, „dezentral. Und genau das wollten wir ja: etwas verändern! Transformation.“

„Es gibt eine große Diskrepanz zwischen den Verfassungstexten und dem, was in der Praxis umgesetzt wird.“

obdachloser Kinder, die Unterdrückung missliebiger Richter. „Da geht etwas“, fasst sie zusammen. „Immer! Denken Sie an Alberto Fujimori.“ Sie triumphiert. Dem Präsidenten von Peru wurden Wahlfälschung und Korruption vorgeworfen, der Einsatz von Todesschwadronen und Mord. Er musste sich vor Gericht verantworten. Heute sitzt er für seine Verbrechen im Gefängnis.

Mariela Morales Antoniazzi, Jahrgang 1962, hat in Caracas Rechtswissenschaften studiert. Die Positionen der katholischen Befreiungstheologie zu Menschenrechten und Gerechtigkeit bestimmten den Diskurs. Als Carlos Tablante, damals Ministerpräsident von Aragua, sie in sein Kabinett rief, war sie 31, eine junge Dozentin, verheiratet, zwei kleine Kinder, engagiert, gebildet und voller Ideale. Ihre Berufung zur Ministerin für Innere Si-

1996 endete nach zwei Amtsperioden die Regierungszeit von Carlos Tablante. Mariela Morales blieb noch für ein paar Monate im Amt – aber damals fing sie damit an, den Diskurs über Werte wie Pluralität und Rechtsstaatlichkeit in anderen Foren voranzutreiben. Sie gründete eine Nichtregierungsorganisation, veranstaltete öffentliche Seminare zum Thema Demokratie und entdeckte das Interamerikanische System zum Schutz der Menschenrechte: Kommission und Gerichtshof – das waren machtvolle Instrumente, um das Elend der Bevölkerung zwischen Mexiko und Patagonien in konkreten Einzelfällen zu erfassen und zu publizieren, um Recht zu sprechen auf der Basis völkerrechtlicher Verträge und darüber politische Veränderung herbeizuführen. Menschenrechtspolitik, gestützt auf Zeugenaussagen, Analysen und mehr als 360 Gerichtsurteile. Die Juristin wird nicht

—>

müde, daraus zu zitieren. Claude Reyes in Chile, Barrios Altos in Peru, Sarayaku in Ecuador ...

Als Hugo Chávez sich um das Amt des venezolanischen Staatspräsidenten bewarb, um seine Idee vom Sozialismus des 21. Jahrhunderts umzusetzen, war sie skeptisch: „Ein Militär, der ein paar Jahre zuvor noch einen gewaltsamen Putsch versucht hatte, der kann nicht wirklich demokratisch regieren.“ Nach Deutschland kam Mariela Morales mit ihrer Familie am 30. September 1998. Ein Stipendium des DAAD bot ihr die Chance, nach Jahren in einem politischen Amt und als Aktivistin nun doch noch zu promovieren. Es ist ihr wichtig, das genaue Datum zu nennen. Drei Tage später, sagt sie, habe sie den Tag der deutschen Einheit miterlebt und sei beeindruckt gewesen. Eine Demokratie, die Anlass hat, sich selbst zu feiern. Hugo Chávez kam erst am 6. Dezember ins Amt, gut zwei Monate nach ihrer Ausreise „Ich habe ihn also nicht gewählt“, unterstreicht Mariela Morales. Hätte sie auch nicht getan. Aber dass sie mit ihren Befürchtungen recht haben sollte, dass sie nicht mehr nach Venezuela zurückkehren konnte: Das wusste sie damals noch nicht.

Denn war nicht Hugo Chávez als strahlender Reformers willkommen geheißen worden? „No!“, widerspricht sie entrüstet: „Das war er nicht!“ Demnach wäre Nicolás Maduro, sein Nachfolger, ebenfalls ein Diktator? „Eindeutig: sí!“ Nun aber kommt Juan Guaidó und will das Land vom Tyrannen befreien; mehr als 50 Länder, darunter Deutschland, unterstützen ihn – doch er sucht vor allem den Schulterchluss mit Donald Trump, dem Hegemon, ausgerechnet. Es ist nicht leicht, die Wege und Absichten dieser Politik zu begreifen. „Sie kapierten es nicht?“, fragt Morales scharf. „Ich auch nicht! Wir haben vor einem Jahr, gleich nach Guaidós internationaler Anerkennung, in Berlin ein Kolloquium zur politischen Situation des Landes veranstaltet. Es geht um die Garantie der Menschenrechte. Allein daraus entwickelt sich meine Analyse. Und ich muss dazu betonen, dass die Opposition es besonders schwer hat. Weil jetzt eine Diktatur installiert ist, die andere Formen hat als in der Vergangenheit. Das ist ein Unterschied. Aber es bleibt eine Diktatur.“

Umso wichtiger die Rolle der übernationalen Instanzen. Die effektive Vernetzung mit Menschenrechtsorganisationen, regional und international. Umso wichtiger auch die ständige

Rückkopplung mit staatlichen Institutionen, etwa den Verfassungsorganen oder Gerichten. „Das Demokratieprinzip ist in Südamerika mittlerweile fest verankert“, schreibt Morales im ersten Satz ihrer Dissertation, 2013. Doch sie konstatiert auch, sechs Jahre später, in einem Artikel, den sie gemeinsam mit Armin von Bogdandy publiziert hat, dem Direktor des Instituts in Heidelberg: „Die Lebenssituation vieler Menschen in Lateinamerika ist inakzeptabel.“

Ein Widerspruch? „Nur auf den ersten Blick“, sagt die Wissenschaftlerin. Genau da liege das Problem. Und sie beginnt, den Begriff des transformativen Konstitutionalismus zu erläutern, den sie und ihre Kollegen als Ziel ihrer Arbeit verstehen: „Die Verfassungen sind Texte, die unsere Rechte festlegen. Allerdings gibt es eine große Diskrepanz zwischen dem, was sie regeln, und dem, was in der Praxis davon umgesetzt wird. Das Versprechen bezieht sich vor allem auf Gleichheit – aber wir sind die ungleichste Region der Welt!“ Wo die Realität so weit von den Normen der Verfassung abweicht, wird der soziale Wandel zum Gebot. Hier öffnet sich das Feld ihrer wissenschaftlichen Erkundungen.

Denn das Demokratieprinzip in der Region hat eine lange Geschichte. Sie beginnt mit der Unabhängigkeit, noch im 19. Jahrhundert. Damals standen die Länder Südamerikas vor einem Neubeginn. Sie gaben sich Verfassungen, sehr fortschrittlich und optimistisch. Auch Demokratie und Menschenrechte wurden darin festgeschrieben, ökonomische und soziale Grundrechte. Als die europäischen Staaten viel später folgten, fanden sie in diesen Prinzipien eine willkommene Vorlage. Und auch die Allgemeine Erklärung der Menschenrechte 1948 durch die Vereinten Nationen konnte auf den Grundsätzen der im Jahr 1910 gegründeten Panamerikanischen Union aufbauen – bis alles verschwand, zerschlagen wurde, sich auflöste in der Raserei der Militärdiktaturen von Argentinien und Chile, Uruguay, Paraguay, Bolivien, Nicaragua oder Peru.

Was aber blieb, anders als in anderen Regionen der Welt, waren ein Bewusstsein und eine politische Kultur, waren internationale Verbindungen, hellwache Protestbewegungen und eingespielte, professionell arbeitende Institutionen wie das Interamerikanische Menschenrechtssystem. „Was wir anstreben“, sagt Mariela Morales also entschlossen, „ist eine expansive Garantie der Gewaltenteilung, ist Unabhängigkeit der Justiz, eine

—>

Charmant, aber hartnäckig:
Als Ministerin für Innere
Sicherheit im venezolanischen
Bundesstaat Aragua vereitelte
Mariela Morales Mitte der
1990er-Jahre Korruption in der
Polizei. Heute beobachtet
die Juristin von Heidelberg aus
die Entwicklungen in ihrem
Geburtsland mit Sorge.



55



FOTOS: KATHARINA DUBNO

Garantie der Menschenrechte. Das bezieht sich auf Wahlen, auf Meinungs- und Bewegungsfreiheit, vor allem aber auf Gesundheit, Bildung und Arbeit.“

Manchmal freilich schnürt es ihr die Kehle zu, wenn sie aus ihrer Heimat hört, wie weit die Wirklichkeit dort von alledem entfernt ist. Manchmal auch erfasst sie heiliger Zorn. Mehr als 400 Juristen und Wissenschaftlerinnen in ganz Lateinamerika gehören zum Netzwerk ihres Projekts Ius Constitutionale Commune en América Latina, alle sind verbunden mit Bürgerbewegungen und Organisationen ihrer Regionen. 211 Kolloquien hat Mariela Morales von Heidelberg aus organisiert; die Kommunikationsforen des Internets – Zoomkonferenzen, Skypegespräche, Webinare – betrachtet sie als einen Segen. Nie zuvor war es ihr so leicht, so viele Menschen zu erreichen und ins Gespräch zu bringen, ihre Berichte zu bündeln und daraus Strategien und wissenschaftliche Konzepte zu entwickeln.

Aber nie auch war es so dringlich. Corona ist eine Seuche, die zuerst und besonders schlimm die Armen befällt – 30 Prozent der Bevölkerung Lateinamerikas gehören dazu, 11 Prozent sind von

extremer Armut betroffen, 53 Prozent arbeiten ohne festen Vertrag. Alte, Frauen und Kinder sind der Bedrohung in besonderem Maße ausgesetzt, Flüchtlinge, Randgruppen, die Bewohner der Slums, Mitarbeitende des Gesundheitssystems. „Das Virus diskriminiert nicht“, zitiert Morales ein Memorandum der Weltgesundheitsorganisation WHO, „aber die Auswirkungen unterscheiden sich sehr. Wenn gar eine Gruppe von Indigenen betroffen wird, sterben sie alle.“

Für die Politik bietet die Seuche oft Anlass, grundlegende Rechte einzuschränken, quasi im Handstreich. „Da müssen wir wachsam sein“, mahnt Morales: Welche Rechte werden beschnitten? Auf welcher Grundlage geschieht es? Für welchen Zeitraum? „Es geht um die Menschenrechte“, sagt sie. Medizinische Versorgung und der Zugang zu sauberem Wasser gehören unbedingt dazu, die Wahrung der Natur, aber auch Bildung, Arbeit, Meinungsfreiheit, politische Teilhabe und eine unabhängige Justiz.

„Und denken Sie nicht“, fügt sie noch hinzu, „dass wir hier allein über Corona und über Lateinamerika sprechen. Wir denken immer auch an Länder wie Polen oder Ungarn.“

56



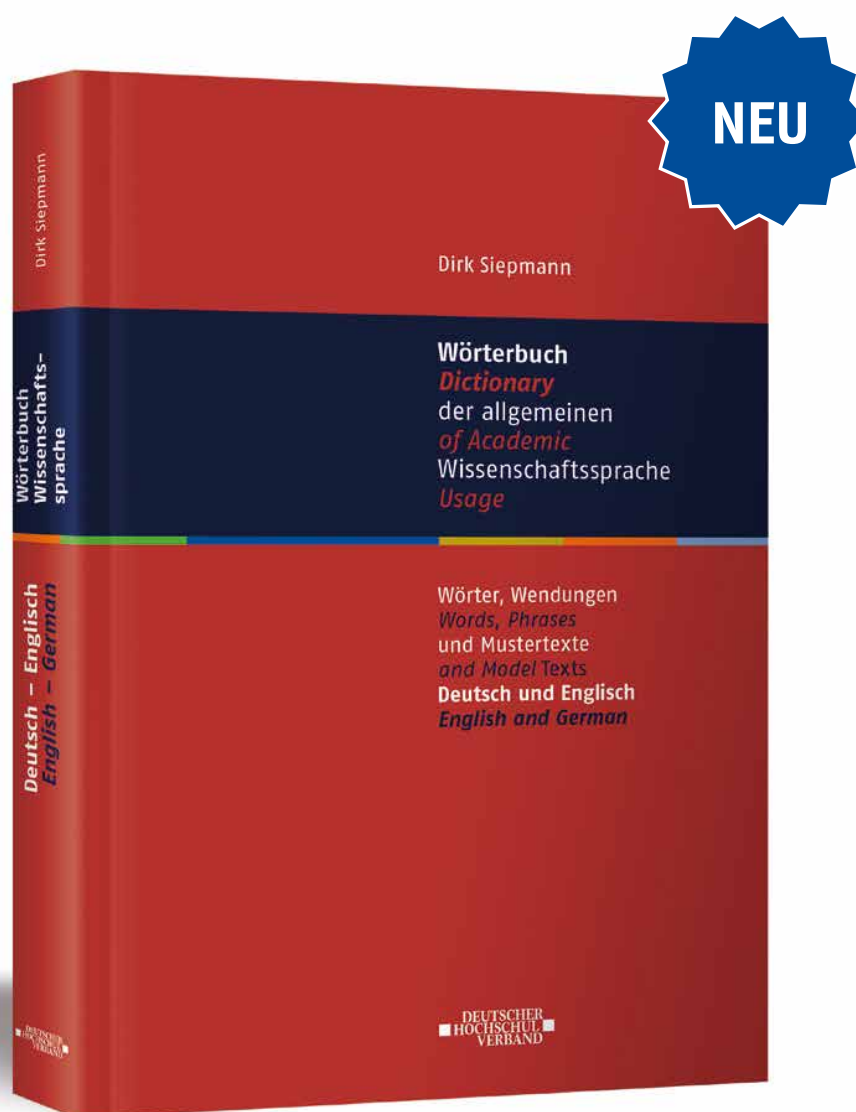
LATEINAMERIKAS ZIVILGESELLSCHAFT IN BEDRÄNGNIS

Die Organisation CIVICUS bewertet, ob Bürger von ihren Freiheiten im öffentlichen Raum Gebrauch machen können. Die Kategorie „Offenheit“ bemisst, inwieweit die Vereinigungs- und Versammlungsfreiheit sowie die freie Meinungsäußerung in einem Land gewährleistet sind. Viele Staaten Lateinamerikas missachten diese Grundrechte.

GRAPHIK: GCO

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

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



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

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


ZUM ARTENSCHUTZ FREIGEgeben

TEXT: KLAUS JACOB

Jahrhundertlang sah es nicht gut aus für sie: Bären, Wölfe und Steinböcke galten den Menschen in Europa als Bedrohung, Nahrungsquelle oder Trophäe und wurden bis zur Ausrottung gejagt. Wie sich das Verhältnis zu den ikonischen Säugertieren im Lauf der vergangenen Jahrhunderte änderte, zeichnet Wilko Graf von Hardenberg, Forscher am Berliner Max-Planck-Institut für Wissenschaftsgeschichte, nach.

WISSEN AUS

— UMWELT & KLIMA

A photograph of three ibexes on a large, dark, mossy rock formation. One ibex is standing prominently on the peak, facing left, with its long, curved horns clearly visible. Behind it, another ibex is partially visible, and in the foreground, a third ibex is standing on the slope, looking towards the left. The background is a soft, out-of-focus mountain landscape under a hazy sky.

Wieder oben auf: Nach einer wechselvollen Geschichte, in deren Verlauf Alpensteinböcke zeitweise ausschließlich in der Gran-Paradiso-Region vorkamen und auch dort nur mit einigen Hundert Exemplaren, leben heute wieder viele Tiere in dem italienischen Nationalpark und in den gesamten Alpen.

Im Sommer 2006 streifte ein Braunbär durch Bayern, zum ersten Mal seit mehr als 170 Jahren. Er war von Italien über Österreich nach Deutschland eingewandert. Unter dem Namen Bruno war er sehr bald in aller Munde – und ein beliebtes Thema in der Presse. Sogar die *New York Times* berichtete über ihn. Wie es seine Natur war, riss er Schafe und Ziegen und plünderte Bienenstöcke. Da er sich dabei dicht an menschliche Siedlungen wagte, wurde er bald zum Problembären – und zur Lachnummer, als der damalige Ministerpräsident von Bayern, Edmund Stoiber, das Wort ungeschickt verwendete. Nach wochenlangen vergeblichen Versuchen, den Bären einzufangen, wurde er am 26. Juni 2006 erschossen. Der Umgang mit dem 110 Kilogramm schweren Tier zeigt beispielhaft die Probleme im Zusammenleben von Mensch und Raubtier: Kaum war der Grenzgänger in Deutschland eingewandert, bildeten sich zwei Fraktionen, die einander unversöhnlich gegenüberstanden. Auf der einen Seite die Naturschützer, die argumentierten, der Bär ge-

höre zur ursprünglichen Natur Bayerns und man müsse ihn wieder als das oberste Glied der Nahrungskette akzeptieren. Auf der anderen Seite die Nutztierhalter, die sich um ihre Herden Sorgen machten, sowie ängstliche Bürger, die das Zusammenleben mit einem Raubtier fürchteten und nur allzu gern vom Problembären sprachen. Nach dem tödlichen Schuss kochten die Emotionen der beiden Parteien hoch: Es gab Klagen vor Gericht und sogar Morddrohungen.

Die Geschichte ikonischer Tiere

Ähnlichen Streit zwischen dem Naturschutz auf der einen Seite und der Sicherheit von Mensch und Eigentum auf der anderen gibt es auch um den Wolf, der wieder manche Gegend Deutschlands durchstreift. Und solche Auseinandersetzungen sind nicht neu. Der Umwelthistoriker Wilko Graf von Hardenberg vom Berliner Max-Planck-Institut für

Wissenschaftsgeschichte beschäftigt sich seit Jahren mit der Frage, wie der Mensch mit ikonischen Tieren umgeht. Mit „Ikonen“ sind Tiere gemeint, die eine besondere Bedeutung für den Menschen haben. Traditionell sind das vor allem die großen Raubtiere wie Bär und Wolf, die mit ihrer Stärke beeindruckend und als Wappentiere auf Flaggen oder Münzen prangen. Der Adler gehört ebenfalls in diese Reihe. Doch es gibt auch harmlose Pflanzenfresser, die wegen ihrer majestätischen Erscheinung und ihrer Bedeutung für die Jagd geadelt wurden, so etwa der Steinbock. Er schmückt die Wappen zahlreicher Schweizer Kantone. „Ironie der Geschichte“, sagt Hardenberg: „Ausgerechnet dieses Wappentier war in der Schweiz rund ein Jahrhundert lang ausgestorben.“ In der ersten Hälfte des 19. Jahrhunderts wurde dort der letzte Steinbock geschossen, und erst seit 1920 ist er wieder heimisch.

Große Tiere brauchen ein ausgedehntes Einzugsgebiet, um zu überleben. Beim Braunbären sind es zwischen 100 Quadratkilometer für ein weibliches Tier und 300 für ein männliches, beim Wolf etwa halb so viel. Meistens reicht nicht einmal ein Nationalpark aus, weil viele Tiere weite Strecken wandern. Jugendliche Wölfe oder Bären legen auf der Suche nach einem neuen Revier Hunderte Kilometer zurück. Die Menschen mussten sich deshalb schon immer mit den großen Räubern arrangieren. Bis zum Ende des 19. Jahrhunderts war dieses Arrangement sehr einseitig: Im Mittelalter und weit darüber hinaus wurden Bären und Wölfe gnadenlos gejagt, oft erhielten die Schützen sogar ein Kopfgeld. Die Menschen haben die großen Räuber dämonisiert, was noch heute in vielen Märgen nachklingt, etwa wenn der Wolf das Rotkäppchen frisst. In Großbritannien war der Braunbär schon vor rund 1000 Jahren verschwunden, in Norddeutschland starb er gegen Ende des 18. Jahrhunderts aus. In Bayern konnte er sich 50 Jahre länger behaupten, doch noch einmal gut 100 Jahre später, nach dem Zweiten Weltkrieg, gab es im Alpenraum nur

Das letzte Halali: 1913 rief Vittorio Emanuele III im Gran-Paradiso-Gebiet, das ihm gehörte, zum letzten Mal zur königlichen Jagd auf Steinböcke. Sechs Jahre später überließ er die Region dem Staat unter der Bedingung, dass dort ein Naturpark zum Schutz der Tiere und Pflanzen eingerichtet werde.

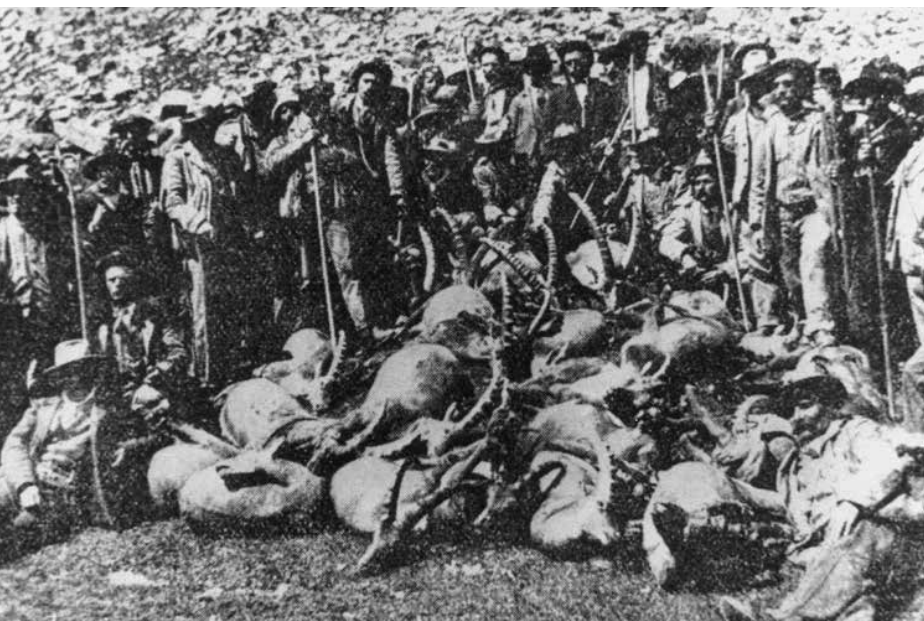


FOTO: PNGF (PARCO NAZIONALE GRAN PARADISO)



Folgenreiche Zentralisierung: Die Anzahl der Steinböcke wurde zwischen 1923 und 1947 im Nationalpark Gran Paradiso nicht immer zuverlässig ermittelt, unter anderem weil die Parkverwaltung zwischenzeitlich die Zählmethode änderte. Doch die Trends lassen sich aus der Statistik ablesen. Der deutlichste: Als das faschistische Regime die Nationale Forstmiliz mit der Aufsicht betraute und ortsfremde Wächter in die Region brachte, schrumpfte die Steinbockpopulation dramatisch. Erst nach dem Ende dieser Ära erholte sie sich wieder.

noch in Italien und in Slowenien einzelne Bärenkolonien.

Bären und andere ikonische Tiere wären in Westeuropa wohl vollends ausgestorben, hätte sich nicht zu Beginn des 20. Jahrhunderts eine neue Denkweise in Politik und Gesell-

schaft durchgesetzt: Der Naturschutz gewann an Bedeutung. Die Tiere sollten nicht länger gejagt, sondern vielmehr geschützt werden. Hardenberg vermutet, dass die Industrialisierung zum Umdenken führte. Immer mehr Menschen lebten in Städten und verloren den Be-

zug zur wilden Natur. So konnte sich ein romantisches Bild durchsetzen, in dem auch große Raubtiere einen Platz hatten. Doch die Entwicklung verlief nicht geradlinig und war von vielen Faktoren abhängig. Jede Region hatte ihre eigene Tradition, ihre eigene Wirtschaftsstruktur und



politische Ausrichtung. Man muss also genau hinschauen, um zu verstehen, wie sich die Beziehung zwischen dem Menschen und den großen Säugern in der Vergangenheit veränderte.

62 Hardenberg hat das getan und den Umgang mit Steinböcken in der Region des italienischen Gran-Paradiso-Massivs zwischen den beiden Weltkriegen untersucht. Die Ergebnisse, für die er zwei Jahre lang in Archiven stöberte, werden 2021 als Buch mit dem Titel *A Monastery for the Ibex* bei der University of Pittsburgh Press erscheinen. Das Buch zeichnet nach, wie das Gran-Paradiso-Gebiet das Überleben des Alpensteinbocks (*Capra ibex*) sicherte. Im 20. Jahrhundert war die hochalpine Region nördlich von Turin die letzte Zuflucht des Tieres. So wie der Braunbär war diese Tierart in den Alpen nahezu ausgestorben. Nur hier überlebte sie, alle heute lebenden Tiere stammen aus diesem Bio-Reservoir. Dass der Steinbock nicht ganz verschwunden ist, verdankt er dem Eingreifen der Behörden. Schon 1821 verbot König Carlo Felice die Jagd auf die seltenen Tiere, und rund 30 Jahre später richtete König Vittorio Emanuele II ein königliches Jagdreservat ein und ließ es von einem eigenen Korps von Wächtern bewachen. Es war letztlich der Vorläufer des Nationalparks, der 1922, kurz nach dem Ersten Weltkrieg, entstand: der Nationalpark Gran Paradiso.

Dank dieses Schutzes erhöhte sich die Zahl der Steinböcke zwischen 1922 und 1933 von 2370 auf 3865 Tiere. Doch dann kippte die Entwicklung, und die Population schrumpfte dramatisch. 1942 wurden noch 1564 Tiere gezählt und gegen Ende des Zweiten Weltkriegs sogar lediglich 419. Die Ursache war rasch gefunden: Wilderer hatten den Bestand dezimiert, um günstig an Fleisch zu kommen. Dass sie unbehelligt blieben, hatte auch einen politischen Hintergrund: Nachdem Mussolini an die Macht gekommen war, griffen die Faschisten 1933 in die Parkverwaltung ein. Sie wollten Italien als letzte Zuflucht der Tiere präsen-

tieren und in ihrer Propaganda hervorheben, wie sehr sich das faschistische Regime für den Schutz der italienischen Natur engagierte. Das misslang jedoch gründlich. Die Faschisten setzten nämlich eine eigene Forstpolizei ein, die Milizia Nazionale Forestale, rekrutiert aus allen Teilen Italiens. Vorher waren die Wildhüter aus der Umgebung angeworben worden. Die Ortsfremden kannten weder die Natur dieser Region mit ihren Wildwechsellern und Schleichwegen noch die Eigenarten der ansässigen Bevölkerung. Und sie waren wenig motiviert, denn viele Soldaten wurden zur Strafe für Disziplinarverstöße in diese entlegene Region geschickt. Ihre Unkenntnis machte es den Einheimischen zudem leicht, die fremden Forstpolizisten an der Nase herumzuführen. Überliefert ist etwa, dass einer der Wildhüter mit einer Frau aus der Umgebung anbandelte. Die konnte so ihren beiden Brüdern, namhaften Wilderern, brüderlich mitteilen, welche Route die Patrouillen jeweils einschlagen würden. Die Brüder schossen unbehelligt Steinböcke und verarbeiteten das Fleisch anschließend sogar in ihren eigenen Restaurants.

Steinböcke sind heute geschützt, Bär und Wolf nicht immer

Aber war wirklich nur die Wilderei für den starken Rückgang der Steinbockpopulation verantwortlich? Es wären ja auch andere Gründe denkbar, zum Beispiel besonders strenge Winter, häufige Lawinenabgänge, Seuchen oder aber Nahrungskonkurrenz mit Gämsen. Und tatsächlich gab es in jener Zeit sehr strenge Winter. Hardenberg wollte es aber genau wissen und wendete Methoden der modernen Biostatistik auf die historischen Daten an. Er griff zu einem Computermodell eines Forscherteams um den Klimatologen Andrew Jacobson von der Princeton University in New Jersey. Die Wissenschaftler hatten es im

FOTO: PNCP (PARCO NAZIONALE GRAN PARADISO)



Jahr 2004 entwickelt, um genau für diese Alpenregion die Abhängigkeit der Steinbockpopulation vom Klima zu ermitteln. Dabei ging es zwar um die Zeit von 1956 bis 2000, doch das Modell sollte auch für frühere Jahre Gültigkeit haben. Hardenberg wendete es auf die Zwischenkriegsjahre an. Das Ergebnis war eindeutig: Der Rückgang der Steinbockpopulation nach 1933 lässt sich keineswegs mit Wetterbedingungen erklären. Auch Seuchen oder Lawinenabgänge scheiden aus, da die Parkverwaltung derartige Ereignisse dokumentiert hätte. So blieb als Ursache tatsächlich nur die Wilderei.



Schutz für Fauna und Flora: Der Nationalpark Gran Paradiso ist etwa so groß wie Hamburg. Darin finden heute nicht nur Pflanzen und Steinböcke Schutz, sondern auch Wölfe. Außerdem siedelten sich hier seit den 2000er-Jahren – erstmals in den Westalpen – auch wieder Bartgeier an.

Heute ist der Steinbock in den Alpen nicht mehr gefährdet, mittlerweile leben hier insgesamt rund 45 000 Tiere, davon etwa 13 000 in Italien und mehr als 17 000 in der Schweiz, und auch durch die deutschen Alpen klettern inzwischen wieder ein paar Hundert Steinböcke, Tendenz steigend. Während die Erhaltung und Wiederansiedlung der Steinböcke heute allseits unterstützt wird und nicht zuletzt deshalb gelungen sein dürfte, ist die Lage bei den großen Raubtieren, die dem Menschen ins Gehege kommen können, komplizierter. So ist der

Schutz von Bär, Wolf oder Luchs immer mit erheblichen Konflikten verbunden. Im Buch *The Nature State*, das 2017 bei Routledge erschienen ist und das er mitherausgegeben hat, stellt Hardenberg dar, wie sich das Zusammenleben von Mensch und Bär im Trentino entwickelte. Auch die Geschichte des Problembären Bruno ist letztlich eine Folge dieser Historie. Es begann damit, dass Braunbären in den Alpen im 19. Jahrhundert äußerst selten wurden. Das hatte verschiedene Gründe: Zum einen wurden die Tiere bis in das erste Drittel des

20. Jahrhunderts rigoros bejagt, da sie Ziegen und Schafe rissen. Damals lebten die meisten Alpenbewohner noch von der Landwirtschaft, sodass sie Grund hatten, die Raubtiere zu fürchten.

Zum anderen änderte sich das Landschaftsbild der Alpen radikal. Wälder wurden gerodet, Almen angelegt, neue Siedlungen entstanden, der Tourismus blühte auf, Straßen und Schienenstrecken bahnten sich einen Weg durch abgelegene Täler, und Industriebetriebe siedelten sich an. Der Bär, der ein großes Revier



braucht, fand immer weniger Rückzugsgebiete. Er konnte nicht mehr vom Sommer- ins Winterquartier wechseln, ohne Verkehrswege zu kreuzen oder in die Nähe von Gebäuden zu kommen. Auch bei seinen üblichen Streifzügen stieß er immer wieder auf menschliche Spuren. Letztlich war das Tier gezwungen, sich mit der Zivilisation zu arrangieren. Anstatt den Menschen zu meiden, wie es seiner Natur entspricht, akzeptierte er dessen Nähe. Das Resultat: „Die Zahl der Konflikte zwischen Menschen und Bären stieg stark an“, wie Hardenberg sagt. Wo Bären auftauchten, griffen die Menschen zum Gewehr – und machten Selbstverteidigung geltend.



FOTO: DPA – REPORT (NEUE ZEITUNG FÜR TIROL / MANKREID SPRENGER DPA)

Dem Menschen zu nahe gekommen: Weil sich der Bär Bruno anders als viele seiner Artgenossen nicht nur in entlegenen Regionen der Alpen aufhielt, wurde er in Bayern zum Problem – und am 26. Juni 2006 erschossen.

64

Ein Umdenken in der Einstellung zum Braunbären bahnte sich Anfang des 20. Jahrhunderts an, nicht zuletzt weil mehr Menschen romantisierend auf die Natur blickten und Raubtiere nicht mehr nur als Feinde betrachteten. Damals schwante vielen Intellektuellen und Politikern, dass der Bestand des Bären gefährdet war, und sie forderten Schutzmaßnahmen. Doch das Töten ging weiter. Bis zur Eröffnung eines Schutzgebietes in der Adamello-Brenta-Region sollten noch Jahrzehnte vergehen. Ausgerechnet die Faschisten setzten sich dann – wiederum zu Propagandazwecken – für die bedrohte Art ein.

Das italienische Ministerium für Land- und Forstwirtschaft verbot 1936 das Jagen und Einfangen von Bären – das weltweit erste totale Verbot der Bärenjagd. Geändert hat sich aber nicht viel, weil Wildhüter fehlten und die örtliche Bevölkerung nicht mitzog. Viele Menschen behaupteten, nicht nur Nutztiere seien in Gefahr, sondern auch Kinder. Selbst Entschädigungen, die der Staat für angerichtete Schäden zahlte, konnten den Trend nicht stoppen – auch wenn die Landwirte das Geld gerne nahmen. Hardenberg hat einen Vorfall von September 1954 ausgegraben, bei dem es um ein verschwundenes Rind ging. Der Bauer pochte auf eine Entschädigung, weil ein Bär sein Tier gerissen habe. Das Rind war aber lediglich ausgebüxt und

tauchte später wieder auf. Der Bär war unschuldig.

Mitte der 1990er-Jahre lebten schließlich nur noch drei Bären im Naturpark Adamello-Brenta – zu wenige, um sich zu vermehren. Diese kritische Situation machte den Staat schließlich mobil. Um auf das symbolträchtige Tier nicht verzichten zu müssen, siedelte die Parkverwaltung in einem EU-Projekt Bären aus Slowenien um, wo es noch große Bestände gibt. Die Aktion begann am 26. Mai 1999. Ein Lastwagen quälte sich im Tovel-Tal eine enge Bergstraße hinauf, auf seiner Ladefläche ein männlicher Braunbär aus Slowenien. In den nächsten Jahren folgten neun weitere Fuhren, sodass sich der Bestand erholte.

Die Eltern von Problembär Bruno gehörten zu diesen Importen. Der Vater Joze erhielt am 22. Mai 2000 im Trentino eine neue Heimat, die Mutter Jurka folgte am 3. Mai 2001. Bruno kam 2004 als waschechter Italiener zur Welt. Doch die ganze Familie hatte wenig Glück, was wohl auf die Eigenarten der Mutter zurückgeht. Die verhielt sich zwar niemals aggressiv gegenüber Menschen,



FOTO: BETTINA AUSSERHOFER

doch sie wagte sich nahe an Ortschaften heran, wo sie in Ställe eindrang und Bienenstöcke plünderte. Im Grunde hatte sie sich ganz besonders gut an die dichte Besiedlung in den Alpen angepasst. Weil die Menschen das nicht akzeptierten, wurde Jurka 2010 eingefangen und in den „Alternativen Wolf- und Bärenpark Schwarzwald“ gebracht. Ihrem Nachwuchs, der von ihr gelernt hatte, erging es schlechter. Nicht nur Bruno wurde erschossen, sondern auch sein jüngerer Bruder, der in die Schweiz eingewandert war und dort Abfallcontainer durchwühlte.

Nach Deutschland kommen Bären allenfalls auf der Durchreise. Dagegen hat sich der Wolf hier nach fast 150

Jahren wieder fest angesiedelt. „Aus menschlicher Sicht ist der Wolf gefährlicher als der Bär“, meint Hardenberg. Denn während sich Bären vorwiegend vegetarisch ernähren, frisst der Wolf vor allem Fleisch. Seit 1998 haben 60 Rudel, sechs Paare und sechs Einzeltiere hier eine Heimat gefunden. Die „Dokumentations- und Beratungsstelle des Bundes zum Thema Wolf“ (DBBW) führt darüber akribisch Buch. Die Diskussionen um den tierischen Immigrant verlaufen ähnlich wie der Streit um den Bären in Italien. Jäger und Nutztierhalter wollen den Wolf am liebsten abschießen. Auch ängstliche Städter würden gerne auf das Kribbeln bei der Wanderung durch die Natur verzichten.

Auf der anderen Seite stehen Naturschützer wie etwa der Naturschutzbund Deutschland (Nabu), der den Tag des Wolfes ausgerufen hat und zu Spenden auffordert. Ob der Wolf auf Dauer überleben kann – das hat Hardenberg mit seinen Arbeiten zu anderen ikonischen Säugetieren gezeigt –, ist schon längst nicht mehr Sache der Natur. „Es ist eine politische Entscheidung“, sagt der Wissenschaftler. Denn der Mensch greift tief in die Ökologie und die Artenvielfalt ein und bestimmt letztlich über den Wildbestand, über die Artenzusammensetzung und sogar über die Vegetation. Die Vorstellung von einer wilden, ursprünglichen Natur ist heute nur noch etwas für Romantiker.



Auf den Spuren von Tier und Mensch: Wilko Graf von Hardenberg untersucht, wie sich unser Verhältnis zu großen Säugern im Laufe der Zeit wandelte.

AUF DEN PUNKT GEBRACHT

65

Jahrhundertlang haben Menschen Bären, Wölfe, Luchse oder Steinböcke rücksichtslos gejagt, sodass diese großen Säugtiere nur noch in wenigen Rückzugsgebieten vorkamen.

Seit Beginn des 20. Jahrhunderts änderte sich zwar die Einstellung vieler Menschen zu den ikonischen Säugern, bei deren Schutz gab es aber immer wieder Rückschläge.

Die wechselvolle Geschichte der Schutzbemühungen um den Steinbock hat Wilko Graf von Hardenberg am Beispiel der Population im italienischen Gran-Paradiso-Massiv rekonstruiert. Dabei belegt er auch mit Modellrechnungen, dass zwischen 1. und 2. Weltkrieg die Jagd den Schutz der Tiere vereitelt hat – und nicht etwa Klimafaktoren.

Das Verhältnis des Menschen zu Bären und Wölfen ist bis heute durch widerstreitende Interessen von Naturschützern auf der einen Seite sowie Viehwirten und besorgten Menschen auf der anderen Seite geprägt.



66

FOTO: CRISTINA GOMES/TAI CHIMPANZEE PROJECT

Schimpansin Kinshasa mit ihrem Bruder Kuba und ihrem Sohn Kiriku (von links) im Tai-Nationalpark in der Elfenbeinküste. Die Tiere sind sehr sozial und leben in größeren Gruppen. Dadurch können sich Krankheitserreger sehr leicht in einer Gemeinschaft ausbreiten.

VIREN AUS DER WILDNIS

TEXT: CATARINA PIETSCHMANN

Roman Wittig weiß, wie es ist, wenn ein Virus seinen Wirt wechselt. Er hat dies im Tai-Nationalpark in der Elfenbeinküste mehrfach erlebt – zuletzt vor vier Jahren, als ein für Menschen harmloses Coronavirus von Menschen auf Schimpansen übersprang. Der Wissenschaftler leitet das Schimpansen-Projekt des Max-Planck-Instituts für evolutionäre Anthropologie in Leipzig. Zusammen mit Fabian Leendertz vom Robert Koch-Institut in Berlin untersucht er die Krankheitserreger der Schimpansen und welche davon auch dem Menschen gefährlich werden könnten.

Als das Coronavirus die Elfenbeinküste erreichte, musste alles ganz schnell gehen: Wer vom Team bleibt hier? Wer fliegt zurück nach Deutschland? „Um die Mitarbeiter haben wir uns weniger Sorgen gemacht, denn dort im Wald sind sie isoliert und optimal geschützt“, sagt Roman Wittig. Er wollte vielmehr die Schimpansen des Nationalparks vor einer Ansteckung schützen – aber nicht nur davor: „Wären alle nach Hause geflogen, dann wären die Tiere Wilderern

schutzlos ausgeliefert gewesen.“ Zoonosen wie Sars-CoV-2 sind Krankheiten, die von Tieren auf Menschen übertragen werden – oder umgekehrt. Die Erreger können Viren sein, aber auch Bakterien, Pilze, Würmer oder infektiöse Proteine – sogenannte Prionen. Schweine, Nagetiere, Vögel und Fledertiere – Fledermäuse und Flughunde – waren in der Vergangenheit immer wieder Ausgangspunkt und Ziel solcher Wirtswechsel. Dies gilt auch für unsere engsten tierischen Verwandten, die Menschenaffen. Mit Schimpansen zum Beispiel teilen wir schließlich 99 Prozent unseres Erbguts.

Besonders anfällig sind Schimpansen für Atemwegserkrankungen. Bereits in den 1990er-Jahren fielen im Nationalpark wiederholt viele der Tiere rätselhaften Infekten zum Opfer. „Die Schimpansen husteten und schniefen. Sie wurden lethargisch und verloren ihren Appetit. Anstatt in den Bäumen schliefen sie am Boden – etwas, was die Tiere aus Angst vor Leoparden sonst niemals tun“, so Wittig. 1999 kam es zu einer heftigen Infektionswelle. Bei 50 bis 70 Prozent der Tiere riefen die Infektio-

nen starke Symptome hervor, beinahe jedes fünfte Tier starb. Auch Christophe Boesch war damals ratlos. Der Verhaltensforscher hatte das Schimpansen-Projekt im Tai-Nationalpark im Jahr 1979 gemeinsam mit seiner Frau Hedwige gegründet und es 1997 als Direktor der Abteilung Primatologie an das Leipziger Max-Planck-Institut überführt. Um die Todesfälle aufzuklären, flog Fabian Leendertz für 13 Monate in das letzte großflächige Regenwaldgebiet Westafrikas. Es war der Beginn einer bis heute engen Zusammenarbeit zwischen den beiden Institutionen.

„In den letzten 20 Jahren gab es mehrere kleine und große Krankheitsausbrüche. Wir haben dann alle kranken und verstorbenen Tiere untersucht und von erkrankten Tieren Kotproben gesammelt. Tote Tiere haben wir unter strengen Sicherheitsvorkehrungen autopsiert, denn wir wussten, dass es auch Fälle von Ebola bei Schimpansen gegeben hatte“, erzählt Leendertz. Die Analysen ergaben, dass zahlreiche Ausbrüche auf Atemwegserkrankungen zurückgehen.

67

→

Leendertz konnte verschiedene Erkältungsviren sowie ein Coronavirus namens OC43 nachweisen. Die Viren stammen vom Menschen und rufen beim erwachsenen Menschen nur milde Symptome hervor. Das Immunsystem der Affen dagegen konnte dem für die Tiere neuen Erreger nichts entgegensetzen. Leendertz wies in den Schimpansen zudem *Streptococcus pneumoniae*-Bakterien nach – sogenannte Pneumokokken, die ebenfalls vom Menschen übertragen werden können. „Heute wissen wir, dass eine solche sekundäre bakterielle Infektion mitbestimmen kann, wie schwer eine Viruserkrankung verläuft.“

Um Wildtiere künftig vor Krankheiten des Menschen zu schützen, entwickelten die Forschenden strenge Umgangs- und Hygienerichtlinien. Diese gelten bis heute. Jeder, der zu Forschungszwecken in eines der vier Camps des Tai-Nationalparks kommt, muss für fünf Tage in Quarantäne. „Auch Händewaschen und das Tragen einer Maske ist Pflicht“, sagt Wittig. Seit dieser Zeit überprüfen die Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler die Gesundheit der Schimpansen im Tai-Nationalpark: Das Team sammelt Kot- und Urinproben und untersucht diese im Labor auf Krankheitserreger.

Aber nicht nur der Mensch kann Erreger auf Tiere übertragen. In den Urwäldern der Erde schlummert eine Vielzahl unbekannter Viren, Bakterien und Parasiten, die dem Menschen gefährlich werden könnten. Lange jagten Wissenschaftler deshalb Mücken, Mäusen oder Fledertieren hinterher und untersuchten die in ihnen vorkommenden Erreger. Aber dadurch lässt sich leider nicht herausfinden, welche Erreger tatsächlich Krankheiten bei Menschen auslösen können. Menschenaffen hingegen sind für ein ganz ähnliches Erregerspektrum empfänglich wie der Mensch. Häufig erkranken sie auch an denselben Infektionen. „Erreger, die wir bei ihnen finden, könnten also auf dem Sprung zu uns sein. Wir nutzen die Tiere deshalb heute als Indikatoren für neue potenziell gefährliche Keime“, erklärt Leen-

dertz. Für den Veterinärmediziner ist der Regenwald ein riesiges Freiluftlabor. „Die Tiere leben hier in ihrer natürlichen Umgebung. Wenn sie krank werden, helfen sie uns, die Verursacher zu identifizieren.“

Schatz im Kühlraum

Mehr als 50 000 Kot- und 40 000 Urinproben, außerdem Gewebe von den Autopsien und Erbgutproben lagern mittlerweile in den Kühlräumen des Max-Planck- und des Robert Koch-Instituts. In den meisten Fällen wissen die Forschenden sogar, von welchem Schimpansen eine Probe stammt. „Solche Langzeitdaten sind ein ungeheurer Schatz. Er wird mit der Zeit immer wertvoller, weil es nur wenige Untersuchungen gibt, die so lange zurückreichen“, erklärt Roman Wittig.

Dank immer neuer Technologien können die Forschenden sogar bereits

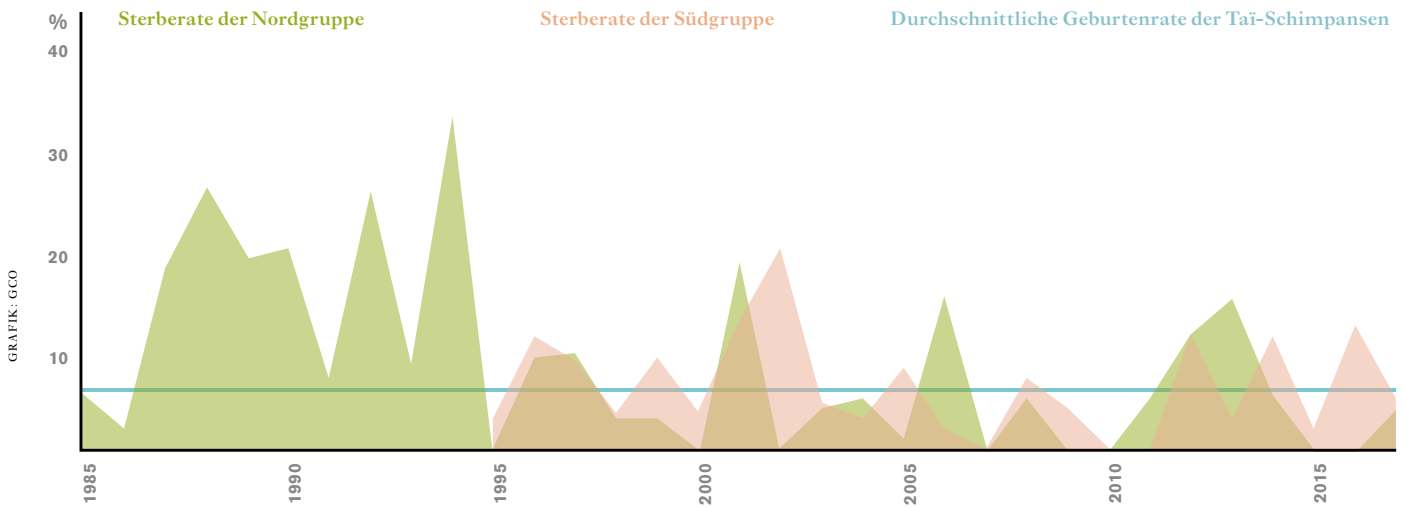
analysierte Proben neu untersuchen und zum Beispiel den Ernährungsstatus oder Veränderungen des Immunsystems und der Darmflora aufklären. Als sie bei toten Schimpansen zum Beispiel einen neuen, untypischen Milzbranderreger entdeckten, *Bacillus cereus biovar anthracis*, analysierten sie auch ältere Knochen- und Gewebeprobe. Das Ergebnis: 31 von 55 toten Tieren waren bereits mit dem Bakterium infiziert. Die weiteren Untersuchungen ergaben, dass der Erreger auch für den Tod zahlreicher wild lebender Schimpansen, Gorillas und Elefanten in Kamerun und der Zentralafrikanischen Republik verantwortlich war. „Mittlerweile gibt es Hinweise darauf, dass sich in der Region auch Menschen mit dem Erreger infiziert haben“, sagt Leendertz.

Auch den Erreger der Affenpocken konnten die Forscher kürzlich in Proben von mehreren Ausbrüchen nachweisen. Diese Viruserkrankung

Roman Wittigs Team sammelt einmal im Monat von jedem habituierten Schimpansen Kot und Urin. In den Ausscheidungen der Tiere fahnden Fabian Leendertz und Wittig nach Spuren von Krankheitserregern. Hier fängt eine Studentin des Tai Chimpanzee Project in einer Plastiktüte den Urin eines Schimpansen auf, der über ihr in den Bäumen sitzt. Ihre Maske dient zum Schutz vor einer möglichen Ansteckung von Mensch und Tier.



FOTO: SONJA METZGER/TAI CHIMPANZEE PROJECT



Sterberate der Schimpansen zwischen 1985 und 2017 in der Nord- und der Südgruppe des Taï Chimpanzee Project. Der Vergleich mit der durchschnittlichen Geburtenrate zeigt, dass in vielen Jahren deutlich mehr Tiere starben als geboren wurden. Im gesamten Nationalpark hat sich die Population der Schimpansen in den vergangenen 20 Jahren um 90 Prozent verringert. Erst in den vergangenen Jahren stabilisierte sich der Bestand der Tiere wieder etwas.

„Ein gestörtes ökologisches Gleichgewicht begünstigt Zoonosen.“

ROMAN WITTIG

ist auf Menschen übertragbar und kann eine milde pockenähnliche Erkrankung auslösen, aber auch tödlich verlaufen. Die Liste der bisher bekannten Zoonosen umfasst über 200 Erkrankungen, von A wie Affenpocken bis Z wie Zika. Zu den prominentesten Vertretern zählt das Lassavirus, erstmals aufgetreten 1969. Noch immer gibt es bis zu 300 000 Neuinfizierte pro Jahr. 1983 folgte HIV und forderte bis heute weltweit 41 Millionen Todesopfer. Dann ging es Schlag auf Schlag: seit den 1990er-Jahren die Vogelgrippe H5N1, 2003 Sars, 2009 die Schweinegrippe H1N1, 2011 Mers, 2014 Ebola, 2015 Zika. Und nun Sars-CoV-2. Fabian Leendertz überrascht das nicht. Für ihn ist es nur eine Frage der Zeit, bis der nächste Erreger den Sprung auf den Menschen schafft, denn der Mensch tut alles, um Zoonosen zu fördern: Er dringt

immer weiter in bislang unberührte Regionen vor und kommt dabei auf enger werdendem Raum stärker mit Wildtieren in Kontakt. Er jagt, handelt und isst Wildtiere in großem Stil. Und dank der heutigen Mobilität kann er Erreger innerhalb kürzester Zeit über den gesamten Globus verbreiten.

Weltweit erhöht die meist illegale Jagd nach Wildtieren die Gefahr, dass Erreger von Tieren auf den Menschen übergehen. Auch in Afrika hat der Verzehr von „Buschfleisch“ lange Tradition. „Die Menschen schreiben Wildtieren besondere Kräfte zu. Der Glaube ist weit verbreitet, dass diese Kräfte auf sie übergehen, wenn sie die Tiere essen.“ Hinzu kommt, dass viele Tiere so selten geworden sind, dass die Preise in astronomische Höhen geschossen sind. Produkte aus Wildtieren sind dadurch



zu Statussymbolen für die Reichen geworden. Das Horn von Nashörnern ist in China und Vietnam so begehrt, dass es inzwischen in Gold aufgewogen wird. Zwar ist die Jagd auf Wildtiere in zahlreichen Ländern Afrikas verboten, aber die Kontrollen sind lax und die Gewinne verlockend. Auf dem Flughafen von Abidjan wurde Leendertz selbst Zeuge, wie der Zoll eine Mitreisende aufforderte, ihren Koffer zu öffnen: Er war voll mit getrockneten Affen.

Der immer weiter fortschreitenden Zerstörung halten Roman Wittig und Fabian Leendertz das sogenannte „One Health“-Konzept entgegen, das die Gefahr neuer Pandemien verringern soll. „Es zeigt sich einfach immer mehr, dass Zoonosen durch ein gestörtes ökologisches Gleichgewicht begünstigt werden. Wir brauchen also gesunde Ökosysteme für unsere Gesundheit. Daher sollten wir alles tun, um die Abhol-

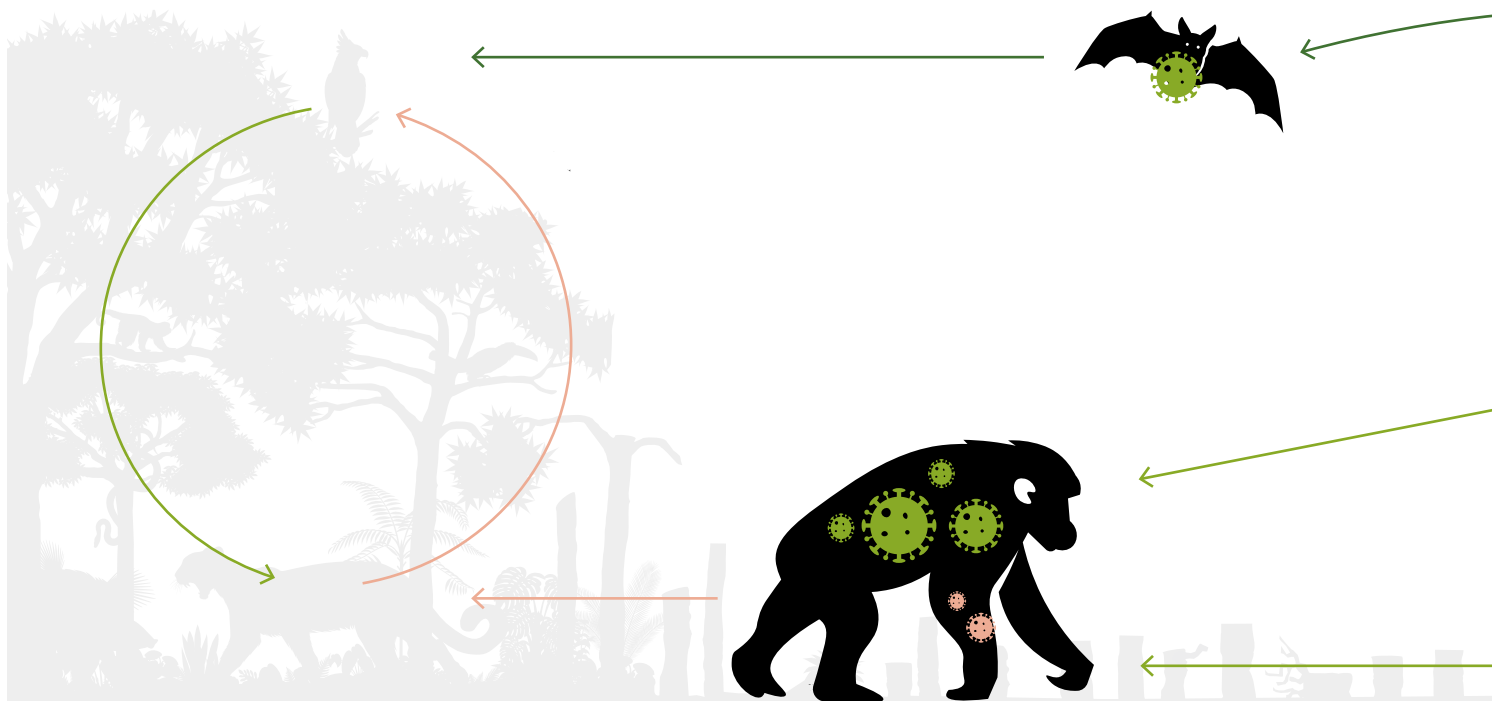
zung der Regenwälder, die illegale Jagd auf Wildtiere und den Klimawandel zu stoppen“, fordert Wittig.

Da die großen Tiere in vielen Regionen ausgerottet worden sind, konzentrieren sich die Wilderer inzwischen auf kleinere Beute. Fledertiere zum Beispiel werden heute zu Hunderttausenden gejagt. Sie sind aber nicht nur begehrte Fleischlieferanten, sondern sie beherbergen auch eine Fülle an Mikroorganismen. „Flughunde und Fledermäuse sind ideale Wirte, denn sie sind eine sehr artenreiche Gruppe und tragen allein deshalb schon eine Vielfalt an Erregern in sich. Diese können sich zudem schnell über große Strecken verbreiten, da Fledertiere bei ihren nächtlichen Beuteflügen große Distanzen zurücklegen“, sagt Leendertz. Es ist also kein Zufall, dass Sars, Marburg, Ebola oder das neue Coronavirus ihren Ursprung bei diesen flugtüchtigen Säugetieren haben.

Doch wie gelangt ein Virus von einem Fledertier zu einem Schimpanse?

„Nachts nascht ein Flughund von einer reifen Feige und hinterlässt dabei Speichel. Ein Schimpanse frisst am nächsten Morgen den Rest dieser Frucht, und schon sind die darin enthaltenen Mikroben in einem neuen Organismus angekommen“, so Leendertz. Wenn es ihnen nun gelingt, dem Immunsystem des Affen zu entgehen, sich in seinem Körper zu vermehren und dann auch noch andere Schimpansen zu infizieren, ist der Wirtswechsel geglückt.

Als Insektenfresser haben Fledermäuse zwar keinen mit Schimpansen überlappenden Speiseplan. Kontaktmöglichkeiten bietet aber ihre Wohn-



AUF DEN PUNKT GEBRACHT

Da Schimpansen und Menschen genetisch eng miteinander verwandt sind, können Krankheitserreger leicht die Artgrenze überwinden: HI-, Ebola- (von Affe zu Mensch) und Coronaviren (von Mensch zu Affe) ist dies in der Vergangenheit bereits gelungen.

Die Vernichtung von Lebensräumen, illegale Jagd auf Wildtiere, intensive Nutztierhaltung und hohe Mobilität gelten als die Hauptursachen für die Entstehung von Zoonosen.

Die Gesundheit von Mensch, Tier und Umwelt sind eng miteinander verknüpft. Forscher verfolgen deshalb im Kampf gegen die Übertragung von Krankheitserregern das „One Health“-Konzept für eine gesunde Umwelt, gesunde Menschen und gesunde Tiere.

heit, in hohlen Bäumen zu schlafen. „Durstige Schimpansen finden oft Wasserpfützen in solch einem Baum. Sie zerkauen Blätter, stecken diesen ‚Schwamm‘ in die Pfütze und saugen ihn aus – und schon kann ein Virus oder Bakterium seinen Weg in den neuen Wirt finden.“

Fledertiere wegen ihrer „Mitbewohner“ zu verteuflern, sie aus Häusern zu vertreiben oder gar auszurotten, wäre aber keine gute Idee. Flughunde wiederum ernähren sich rein vegetarisch von Früchten, Pollen, Nektar und Blüten und sind deshalb wichtige Bestäuber. Mit dem Kot scheiden sie die Kerne und Samen ihrer Mahlzeit weitab wieder aus und tragen so ganz wesentlich zur Aufforstung der Regenwälder bei. „Auch Fledermäuse leisten sehr viel für uns Menschen, selbst in Großstädten wie Berlin“, betont Leendertz. Die Tiere können pro Nacht ein Drittel ihres Körpergewichts an

Insekten vertilgen – darunter auch Stechmücken. „Ohne Fledermäuse gäbe es Malariaepidemien in Regionen, in denen diese Krankheit bisher kaum ein Problem ist.“ Außerdem kommt in den Fledermäusen Mitteleuropas keines der für Menschen gefährlichen Coronaviren vor.

Kümmern sich Schimpansen eigentlich umeinander, wenn einer der ihren krank ist? „Ja, das kommt immer wieder vor. Wir haben zum Beispiel kürzlich beobachtet, wie ein Leopard ein ausgewachsenes Weibchen angegriffen und beim Kampf regelrecht skalpiert hat. Kinder und Freunde der Äffin kamen immer wieder und leckten die Wunde ab. Sie hat es überlebt“, erzählt Roman Wittig. „Wenn ein Jungtier krank ist und der Gruppe nicht folgen kann, dann lässt die Mutter es auf einem Baum zurück, der Früchte trägt. Sie kommt alle zwei Tage, um nach ihm zu sehen, bis es wieder gesund ist.“

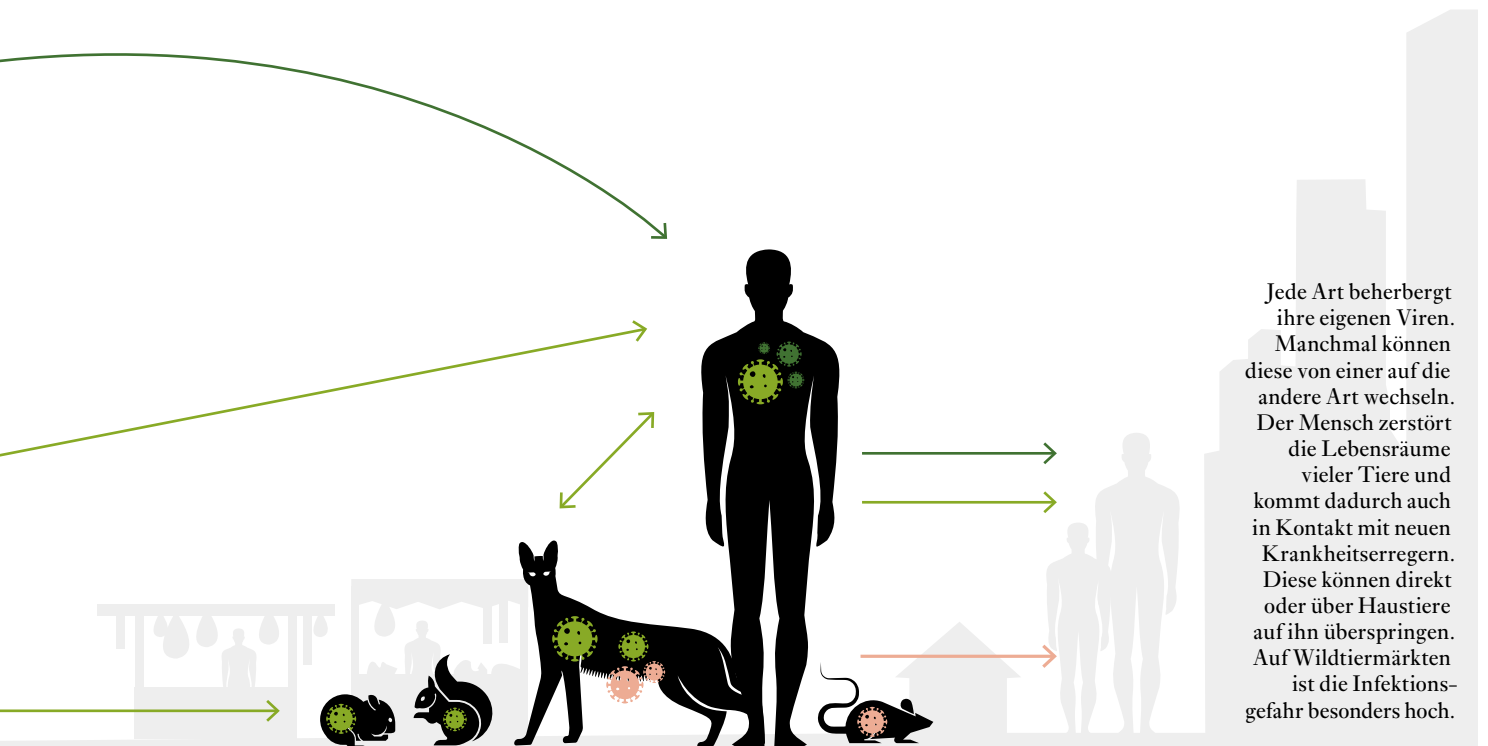




FOTO: PICTURE ALLIANCE / REUTERS / APOLABI SOTUNDE

Ein Verkäufer von Buschfleisch bietet seine Ware am Straßenrand zum Kauf an. Die schlechten hygienischen Bedingungen auf Wildtiermärkten begünstigen die Übertragung von Krankheitserregern.

72

Stirbt ein Alphamännchen oder ein altes Weibchen, kommen die Mitglieder der Gruppe zusammen, berühren den Leichnam und pflegen ihm das Fell. Manche Tiere lassen dagegen ihrem Frust freien Lauf. „Als Ravel, ein 15-jähriges Männchen, starb, versuchte sein bester Freund, Oscar, mit dem er aufgewachsen war, immer wieder, den toten Körper hochzuziehen und zum Aufstehen zu bewegen. Als das jedoch nicht funktionierte, rannte er schreiend umher und warf mit Stöcken um sich“, erzählt Wittig. Manchmal werden tote Tiere auch mit Ästen oder Blättern bedeckt.

Helfen die Forscher kranken Schimpansen? Roman Wittig verneint: „Wir möchten die Tiere in ihrem na-

türlichen Leben beobachten. Dazu gehören Krankheiten und Verletzungen – da wollen wir uns nicht einmischen.“

Eine Ausnahme gab es jedoch: „Als uns klar wurde, dass wir die Tiere mit unseren Erkältungsviren angesteckt hatten, und wir noch nicht wussten, wie wir sie schützen können.“ Gegen die Sekundärinfektionen mit den ebenfalls von Menschen übertragenen Pneumokokken spritzte Fabian Leendertz einigen erkrankten Tieren mit einem Blasrohr ein Antibiotikum – darunter auch Sumatra, einem damals schwer erkrankten Weibchen. Das ist nun schon mehr als 20 Jahre her – und Sumatra dank der Therapie eine sehr alte Schimpansendame.

Schimpanzen sind also sehr empfindlich für Infektionen der Atemwege. Sollte Sars-CoV-2 die Schimpanzen des Tai-Nationalparks erreichen, könnten die Folgen für die Tiere dramatisch sein. Gäbe es eine Impfung – zumindest die an die Forscher gewöhnten Tiere würde Roman Wittig wohl impfen. „Für die Schimpanzen des Tai-Nationalparks geht es ums Überleben: Von 3000 Tieren im Jahr 2000 leben heute nur noch 300. Es ist unsere moralische Pflicht, die Schimpanzen vor einer Krankheitswelle zu schützen, die wir selbst ausgelöst haben.“

←



Zurück in die Zukunft ...

Sie haben die Titelzeile gelesen, sich an einen 1980er Film erinnert und gefragt, was das mit Grundlagenforschung zu tun hat?

Wie ein Videorecorder hat ihr Hirn gerade einen verknüpften Strom von sequentiellen Aktivitätsmustern erzeugt.

Die Stiftung unterstützt Yingxue Wang am Max Planck Florida Institute for Neuroscience; sie erforscht, wie unser Hirn im Hippocampus sequentielle Informationen verarbeitet und Vergangenheit und Zukunft in die Gegenwart integriert.

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

DIE BITTEREN SPUREN DER SKLAVEREI

TEXT: STEFANIE REINBERGER

74

Finden Menschen ihre letzte Ruhe in einem Massengrab, wird mit ihren sterblichen Überresten oft auch ihre Lebensgeschichte begraben. Forschenden vom Max-Planck-Institut für Menschheitsgeschichte in Jena ist es gelungen, drei Männern aus Afrika, die im 16. Jahrhundert in Mexiko-Stadt lebten, einen Teil ihrer Geschichte wiederzugeben: eine Geschichte von Deportation und Sklaverei, eine Geschichte aber auch von gefährlichen Krankheitserregern, die unbe- merkt um die Welt reisten.

Der Bau der U-Bahn in Mexiko-Stadt bringt seit den 1960er-Jahren zahlreiche Zeugnisse für die bewegte Geschichte der jahrhundertealten Metropole ans Tageslicht und ent- reißt sie so der Vergessenheit. So auch 1992, als Arbeiten an einer neuen U-Bahn-Linie auf ein Mas- sengrab stießen – gelegen auf dem Gelände des Hospital Real de San José de los Naturales. Das Kranken- haus wurde 1530 eigens für die indi- gene Bevölkerung eingerichtet, die den durch die spanischen Eroberer eingeschleppten Krankheiten hilflos ausgesetzt war. Doch drei der gefun- denen Schädel passten so gar nicht

ins Bild. Dank der Arbeit eines in- ternationalen Forschungsteams un- ter der Leitung des Max-Planck-In- stituts für Menschheitsgeschichte in Jena vermögen die sterblichen Über- reste von drei Männern heute einen Teil von deren Geschichte zu erzäh- len: eine Geschichte von Verskla- vung und Pein, die neue Einblicke in die Kolonialzeit Mexikos gewährt, aber auch von Krankheiten, die mit einer mobilen Menschheit um die Welt reisen.

Die Schädel der drei Männer fielen auf, weil sie prägnante Veränderungen an den Schneidezähnen hatten. Die Zähne waren angespitzt worden. Ähnliches kannte man bereits von Funden afrikanischer Sklaven in Portugal. Und auch heute noch ist diese Art von dekorativer Manipu- lation an Zähnen bei einigen Bevöl- kerungsgruppen in Westafrika ver- breitet. Die Vermutung lag nahe, dass es sich bei den drei Männern um Menschen afrikanischer Her- kunft handelt. Klarheit brachte nun die Arbeit von Rodrigo Barquera, Doktorand im Team von Johannes Krause, der wiederum Direktor der Abteilung für Archäogenetik am Max-Planck-Institut für Mensch- heitsgeschichte ist. Barquera blickt bereits auf eine bewegte Forscher-

laufbahn zurück: Sein Tätigkeits- feld erstreckte sich von pharmakolo- gischer Chemie über Immunologie und Genetik bis zu Anthropologie. Ganz besonders jedoch interessiert sich der Mexikaner für die Ge- schichte seines Landes und die Wur- zeln der heutigen Bevölkerung Me- xikos. „Da ist immer nur von den spanischen Einwanderern und den wenigen Überlebenden der indige- nen Bevölkerung die Rede“, so Bar- quera. „Das ist aber nur ein Teil der Wahrheit, denn es gab auch Sklaven aus Afrika sowie Einwanderer aus Asien und Polynesien, deren gene- tisches Erbe sich ebenfalls in uns mo- dernen Mexikanern widerspiegelt.“ Das aber finde kaum Erwähnung.

Der mexikanische Wissenschaftler – zu jenem Zeitpunkt Laborleiter am Na- tionalen Institut für Anthropologie und Geschichte in Mexiko-Stadt – lud Krause 2014 zu einem Workshop ein, bei dem dieser sein Forschungs- feld vorstellte. Krause ist einer der wenigen Experten auf dem Gebiet der Archäogenetik, also der Analyse alter und sehr alter DNA, die sich etwa aus Knochenfunden isolieren lässt. Barquera war von dieser For- schungsrichtung so begeistert, dass er sich entschied, als Doktorand nach Jena zu kommen. Dort bekam



Gerettet: Diese Kinder wurden 1869, als Sklavenhandel bereits verboten war, von einem Sklavenschiff auf dem Weg nach Amerika befreit. 300 Jahre war der Menschenhandel gängige Praxis gewesen. Kinder und Jugendliche wurden bevorzugt ausgewählt, weil sie die brutalen Bedingungen der Überfahrt eher überlebten und Sklavenhalter für sie höhere Preise zahlten.

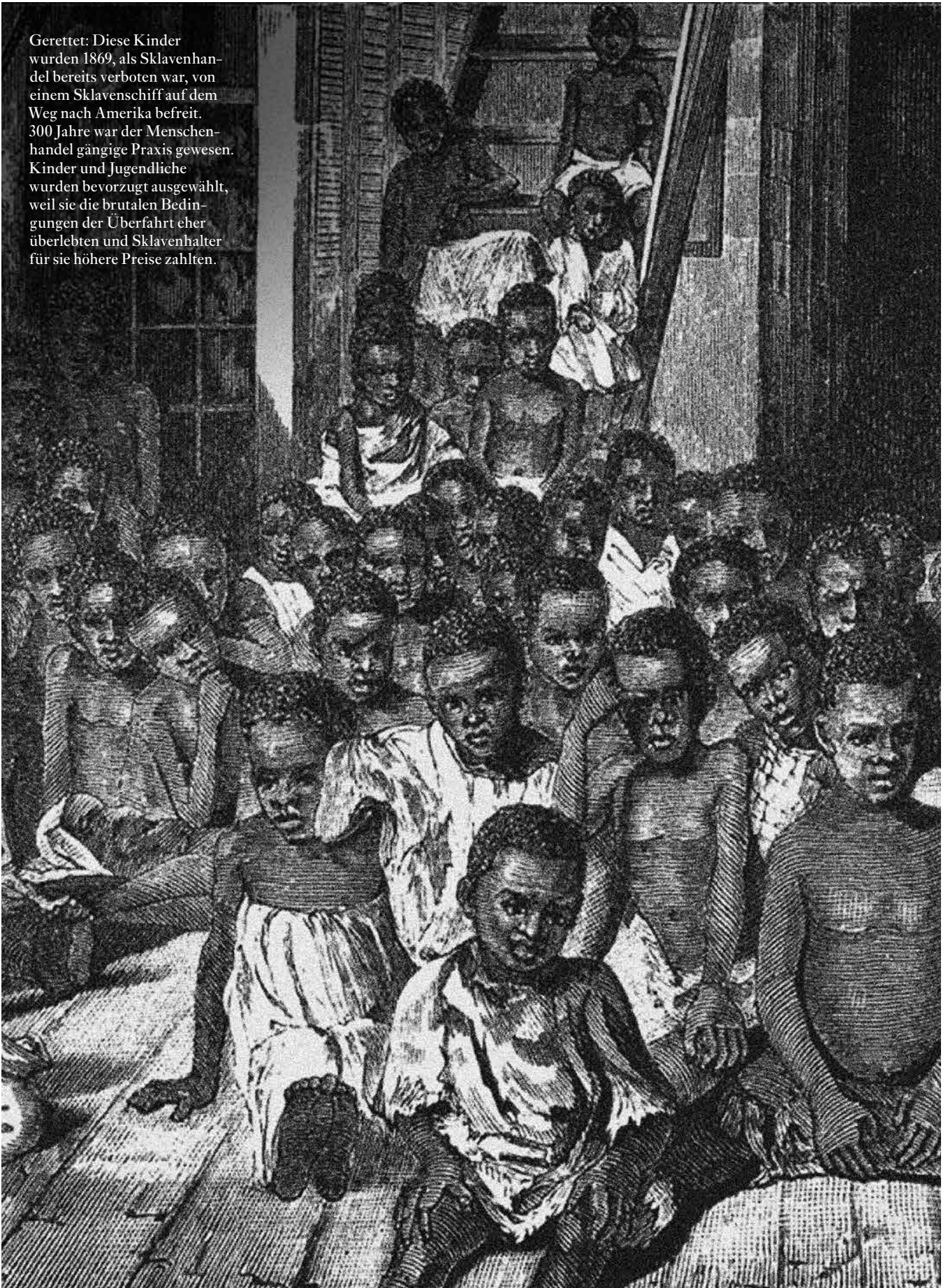


FOTO: DPA/CFA MEDIA

er die Chance, den mutmaßlichen Afrikanern aus dem Massengrab in Mexiko-Stadt auf den Zahn zu führen – im wahrsten Sinne des Wortes. Zusammen mit Krause entfernte er bei den drei Schädeln jeweils einen Backenzahn, um daraus DNA-Proben zu isolieren. „Moderne Labortechniken erlauben es uns, unglaubliche Datenmengen aus sehr wenig biologischem Material zu gewinnen“, erklärt Barquera. „Die Vielfalt und Fülle an Informationen, die wir heute durch die Analyse eines einzigen Zahnes von einem Individuum gewinnen können, ist etwas, wovon wir noch vor zehn Jahren nur träumen konnten.“ So vermag alte DNA vieles zu erzählen, worüber Archäologen bislang nur spekulieren konnten: Sie hilft dabei, die Herkunft von Menschen einzuordnen, Völkerwanderungen nachzuvollziehen, sie verrät, wie sich Menschen in der Vergangenheit ernährt haben, und berichtet von Krankheiten, unter denen die Menschheit vor langer Zeit litt.

- 76 Die Analyse der Zähne aus Mexiko-Stadt ergab eine genetische Signatur, die ins südwestliche Afrika deutet. Die Y-Chromosomen der drei Männer ließen sich einer Linie zuordnen, die heute in Afrika weit verbreitet ist und auch in der afroamerikanischen Bevölkerung häufig vorkommt. Das Y-Chromosom wird nahezu unverändert vom Vater auf den Sohn vererbt und trägt daher die Signatur aller männlichen Vorfahren, was eine derartige Zuordnung möglich macht. Eine Isotopenanalyse ergab zudem, dass alle drei Personen außerhalb Mexikos geboren wurden. Die Skelette der drei Männer weisen Zeichen von Gewalt und Unterernährung auf. Frakturen und Deformationen lassen auf Mischhandlungen und auf unmenschlich harte Arbeit schließen. Spuren von Schrot in den Knochen belegen, dass einer der Männer irgendwann eine Schussverletzung davongetragen hat; offensichtlich hat er damit noch einige Jahre gelebt. Alle drei sind jung gestorben – im Alter zwischen 25 und 35 Jahren. „Das alles, zusammen mit dem Befund, dass sie außerhalb Mexikos geboren wurden,

deutet stark darauf hin, dass die drei Männer zu den ersten Afrikanern gehörten, die als Sklaven aus ihrer Heimat nach Mexiko deportiert wurden“, so Rodrigo Barquera.

Im Jahr 1518 hatte König Carlos I von Spanien den Transport afrikanischer Sklaven nach „Neuspanien“ autorisiert, zu dem auch das heutige Mexiko zählte. Bis zum Verbot des Imports von Sklaven in diese Region im Jahr 1779 wurden zwischen 130 000 und 150 000 Menschen aus Afrika zwangsweise dorthin umgesiedelt. Der Hintergrund: Die An-

AUF DEN PUNKT GEBRACHT

In Mexiko-Stadt sind die Gebeine dreier Männer entdeckt worden, die wohl als Sklaven im 16. Jahrhundert von Afrika in die Neue Welt verschleppt wurden.

Das konnte ein Forschungsteam mithilfe von DNA- und Isotopenanalysen nachweisen.

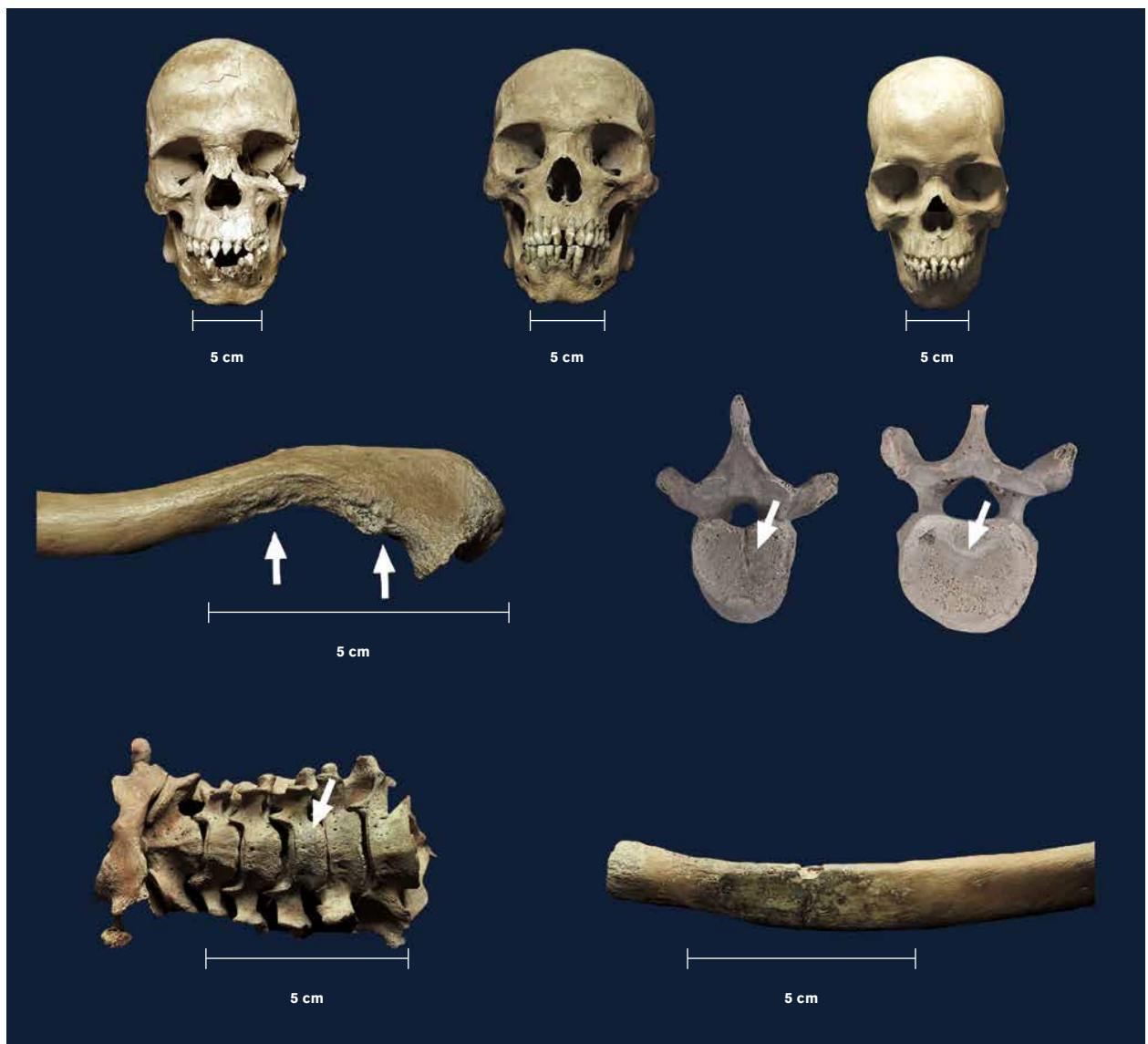
An Bord von Sklavenschiffen reisten auch neue Krankheiten nach Mexiko mit.

gehörigen der indigenen Völker, die bis dahin als Zwangsarbeiter missbraucht worden waren, starben massenhaft an den eingeschleppten Krankheiten der Europäer. Ihr Immunsystem hatte Masern, Pocken und Typhus nichts entgegenzusetzen. Ein Gesetz von 1542 verbot schließlich ihren Arbeitseinsatz. Trotzdem beanspruchten die Kolonialisten Sklaven für sich: für die Arbeit im Haushalt, in der Landwirtschaft und beim Goldwaschen. Und Menschen aus Afrika galten als widerstandsfähiger gegenüber den eingeschleppten Infektionskrankheiten. „Doch das war möglicherweise ein Irrtum“, sagt Barquera. Man müsse sich schon die Frage stellen, wie die drei afrikanischen Männer ins Massengrab des Hospi-

tal Real de San José de los Naturales gekommen seien. Das Krankenhaus war eigentlich ausschließlich der indigenen Bevölkerung vorbehalten, die dort wegen der von Europäern eingeschleppten Seuchen behandelt wurden. Vermutlich wurden in dem Massengrab Opfer einer Epidemie beerdigt. Die drei Männer aus Afrika sind also vielleicht ebenfalls dieser Seuche erlegen.

Doch die drei Toten erzählen auch eine Geschichte von Krankheitserregern, die unbemerkt an Bord von Schiffen um die Welt reisen – eine Thematik, die angesichts der Corona-Pandemie kaum aktueller sein könnte. Die genetischen Untersuchungen brachten nicht nur Informationen zur Herkunft der Männer ans Licht. Sie ergaben auch, dass einer von ihnen mit Hepatitis B infiziert war – und zwar mit einem Stamm, der heute typischerweise in Westafrika vorkommt. Ob sich die Viruserkrankung allerdings damals in Mexiko verbreitet hat, ist unklar. Ein anderer Mann war mit dem Bakterium *Treponema pallidum pertenue* infiziert, das Frambösie hervorruft, eine schmerzhaft, der Syphilis ähnliche Infektionskrankheit. Denselben Erregerstamm hatten Barquera und Krause zuvor bei einem europäischen Einwanderer in Mexiko aus dem 17. Jahrhundert entdeckt. Das könnte darauf hindeuten, dass dieser Erreger ursprünglich aus Afrika stammt und sich in der frühen Kolonialbevölkerung ausbreitete.

Bei beiden Männern war die Krankheit höchstwahrscheinlich in einem symptomfreien Stadium. Das heißt, sie bemerkten vermutlich nichts mehr von den Erregern, die, gleich blinden Passagieren, gemeinsam mit ihnen nach Mexiko deportiert worden waren. „Wir lernen daraus, dass die Mobilität des Menschen – egal ob freiwillig oder erzwungen – immer schon die Gefahr mit sich brachte, dass Krankheitserreger sich ausbreiten können“, so Barquera. Für die Jenaer Forschenden steht jedoch das Schicksal der drei Männer im Vordergrund. „Indem wir Molekularbiologie, Isotopenanalyse und



Auffälliger Fund: Die drei Schädel (oben), die in einem Massengrab in Mexiko-Stadt entdeckt wurden, unterscheiden sich durch die angespitzten Schneidezähne von denen der anderen Bestatteten. Genanalysen ergaben eine afrikanische Herkunft. Die Skelette der Afrikaner zeigen Spuren von Überbeanspruchung durch schwere körperliche Arbeit (Mitte) und Misshandlungen (unten): So weisen etwa Verfärbungen an den Knochen auf Schussverletzungen mit Kupferschrot hin.

Methoden der Bioinformatik mit klassischen historischen, anthropologischen und archäologischen Belegen kombinierten, ist es uns gelungen, Einblicke in die Lebensgeschichte von einigen der ersten afrikanischen Sklaven in Amerika zu gewinnen“, fasst Johannes Krause zusammen.

Künftig möchte das Team mithilfe heutiger Genome aus Afrika mehr über die genaue Herkunft der drei Individuen erfahren. „Leider gibt es bisher viel weniger Genomanalysen an heutigen Afrikanern als an Menschen

außerhalb Afrikas“, erklärt Krause. Afrika sei zwar die Wiege der Menschheit und berge die größte genetische Vielfalt beim Homo sapiens. Dennoch lägen gerade von dort viel zu wenige genetische Daten vor. „Sollte sich das in Zukunft ändern, so werden wir hoffentlich in der Lage sein, nicht nur die Herkunft der drei Individuen aus dem frühen Mexiko zu ergründen, sondern auch den vielen Millionen Nachfahren von verschleppten Sklaven, die heute in Nord- und Südamerika leben, Genaueres über die Herkunft ihrer Vorfahren zu sagen.“

Noch sind es drei Einzelschicksale, die die Jenaer Forscher mit ihrer Arbeit skizziert haben, Beispiele für das Leben afrikanischer Sklaven im Mexiko der Kolonialzeit. Die ganze Geschichte dieser zwangsumgesiedelten Menschen, die gewaltsam von einem Kontinent auf einen anderen verschleppt wurden, vermögen sie nicht widerzuspiegeln. Sicher ist: „Das Schicksal dieser drei Männer hat alle hier im Institut sehr bewegt“, sagt Rodrigo Barquera. „Es fällt uns schwer, jetzt einfach zum nächsten Forschungsthema überzugehen.“



„SCHÄRFERE GESETZE SIND EIN ZEICHEN VON HILFLOSIGKEIT“

INTERVIEW:
MECHTHILD ZIMMERMANN

Lügde, Bergisch Gladbach, Münster – die Serie von Kindesmissbrauchsfällen scheint nicht abzureißen.

Die Forderungen nach härteren Strafen für die Täter werden immer lauter, das Bundesjustizministerium hat Anfang Juli erste Reformvorschläge vorgelegt. Doch welche Wirkung könnten schärfere Gesetze haben? Tatjana Hörnle, Direktorin am Max-Planck-Institut zur Erforschung von Kriminalität, Sicherheit und Recht ist da skeptisch. Die Juristin befasst sich seit Jahren mit dem Thema Missbrauch.

78

Die Befürworter schärferer Gesetze fordern, dass Kindesmissbrauch als Verbrechen mit mindestens einem Jahr Freiheitsstrafe geahndet werden sollte. Ist das bisher nicht so?

TATJANA HÖRNLE Die meisten Fälle, die in letzter Zeit in den Medien bekannt geworden sind, wie die von Münster oder Lügde, sind eindeutig Fälle von schwerem sexuellem Missbrauch. Das Strafgesetzbuch sieht dafür schon jetzt zwischen zwei und 15 Jahren Freiheitsstrafe vor. Damit sind solche Taten ganz klar als Verbrechen eingeordnet. Das Gesetz umfasst aber auch weniger schwere Fälle, zum Beispiel, wenn eine flüchtige körperliche Berührung im Grenzbereich von „sexuell“ und „harmlos“ lag. Insgesamt ist der Rahmen sehr weit gesteckt, das entspricht den sehr unterschiedlichen Formen des Unrechts und ist ein überzeugender Strafrahmen, der keiner Änderung bedarf.

Sie halten also nichts von höheren Mindeststrafen?

Mir ist bewusst, dass einige Menschen es als Verharmlosung empfinden, wenn bei Sexualdelikten gegen Kinder zwischen schweren und weniger schweren Taten differenziert wird. Aber gerade die extremen Fälle, die in letzter Zeit bekannt geworden sind, machen deutlich: Es muss die Möglichkeit geben, verschiedene Grade von Unrecht mit verschiedenen harten Strafen zu belegen. Und gerade für solche Fälle, in denen die Täter besonders brutal vorgegangen sind und in denen es viele Opfer gibt, ist die Untergrenze nicht von Bedeutung. Die Frage ist daher, was man bewirken möchte. Wenn es darum geht, Täter abzuschrecken, wäre es wichtiger, das Entdeckungsrisiko zu erhöhen. Wenn es um die moralische Verurteilung sexueller Gewalt gegen Kinder geht, wird jetzt deutlich, dass es darüber einen ungewöhnlich breiten Konsens in der Gesellschaft gibt. Durch die Erhöhung der Mindeststrafen schafft der Gesetzgeber eher neue Probleme.

ist jegliche sexuelle Handlung verboten. Aus Umfragen unter 12- und 13-Jährigen wissen wir, dass viele schon erste sexuelle Kontakte mit Gleichaltrigen haben. Nach dem Gesetz ist aber ein Zungenkuss, den ein 15-Jähriger seiner 13-jährigen Freundin gibt, für ihn strafbar. In Österreich und der Schweiz gibt es für solche Fälle bereits eine Ausnahmeregelung. Positiv am aktuellen Reformvorhaben des Bundesjustizministeriums ist, dass im deutschen Strafrecht eine ähnliche Lösung eingeführt werden soll. Aber es gibt auch in anderen Konstellationen leichte Fälle, etwa die eben schon erwähnten einmaligen Berührungen, die nur knapp über der Schwelle dessen liegen, was als „sexuell“ gelten muss – zum Beispiel eine kurze Berührung der Genitalregion, wenn das Kind Kleidung trägt. Gesetzliche Strafrahmen sollten so beschaffen sein, dass auch atypisch leichte Fälle angemessen bestraft werden können.

Im Zusammenhang mit Kinderpornografie will die Bundesjustizministerin die Mindeststrafe ebenfalls erhöhen. Wie beurteilen Sie das?

Recht ähnlich. Auch hier gibt es ein Kontinuum von Fällen: Das reicht von Jugendlichen, die einmal ein Tabu brechen wollen und sich beim Anblick sol-

Inwiefern?

Es gibt im Gesetz eine starre Altersgrenze bei 14 Jahren; bis zu diesem Alter



Tatjana Hörnle ist Direktorin am Max-Planck-Institut zur Erforschung von Kriminalität, Sicherheit und Recht. Zu ihren Schwerpunkten gehören rechtliche Fragen in Bezug auf sexuelle Gewalt und sexuelle Selbstbestimmung.

cher Bilder gruseln, bis zu Tätern, die große Mengen von Abbildungen mit massivem sexuellem Missbrauch verbreiten. Auch hier ist der Strafrahen so angelegt, dass er den Unterschieden Rechnung trägt. Wenn sexuelle Handlungen an Kindern gefilmt und übers Internet verbreitet werden, sind die Strafen für die Täter des Missbrauchs bereits sehr hoch. Schon die Absicht, Bilder der Tat zu verbreiten, kann eine Freiheitsstrafe von zwei bis 15 Jahren nach sich ziehen. Davon unterscheiden muss man Fälle, bei denen Täter ohne Beteiligung am Missbrauchsgeschehen vorhandene, im Netz gefundene Bilder weiterverbreiten. Da reicht das Strafmaß derzeit nur bis fünf Jahre, vorgeschlagen ist jetzt, die Obergrenze auf zehn Jahre zu erhöhen. Das ist vertretbar, da das Unrecht unter bestimmten Umständen erheblich sein kann, nämlich wenn Einzeltäter viele extreme Abbildungen an zahlreiche Empfänger weitergeben. Kritisch zu sehen ist jedoch die geplante Heraufsetzung der Mindeststrafe insbesondere beim Besitz. Auch da kann es Bagatelldaten geben, etwa das Betrachten eines einzigen Bildes für kurze Zeit, die die Einordnung als Verbrechen nicht verdienen.

Warum dann die Forderungen?

Die Fälle von Münster und Lügde haben die Öffentlichkeit sehr aufgewühlt. Es gibt einen breiten Konsens über alle politischen, kulturellen und sozialen Trennlinien hinweg, dass Kindesmissbrauch bekämpft werden muss. Und gerade in unserer Mediengesellschaft wird die Empörung besonders spürbar. Die Politik gerät massiv unter Druck, schnell zu handeln. Das einfachste Mittel ist, den Strafrahen zu ändern. Letztlich ist das ein Zeichen von Hilflosigkeit. Denn auf Gerichtsurteile haben Regierung und Bundestag keinen Einfluss. Und effektivere Ermittlungsmaßnahmen werden im Moment dadurch behindert, dass die Vorratsdatenspeicherung auf Eis liegt.

Was würde eine solche Speicherung bringen?

Wenn aufmerksame Bürger oder Kinderschutzorganisationen der Polizei kinderpornografische Inhalte melden, können die Ermittler die Veröffentlichungen nicht bestimmten Computern oder Personen zuordnen – selbst wenn die Inhalte von deutschen IP-Adressen aus

ins Netz gestellt wurden. Denn die IP-Adressen sind häufig dynamisch, und nur wenn die Internetanbieter die Adressen mit den zugehörigen Nutzerdaten für einen bestimmten Zeitraum speichern würden, könnte man die Täter ausfindig machen. Das Bundeskriminalamt hat für 2019 Zahlen veröffentlicht, wonach sich in 2100 Fällen von Kinderpornografie die Person hinter der IP-Adresse nicht ermitteln ließ.

Woran hängt die Vorratsdatenspeicherung im Moment?

Derzeit steht eine Entscheidung des Europäischen Gerichtshofs aus. Es geht um die Klage von Providern und die Frage, ob das deutsche Gesetz von 2015 gegen europäische Datenschutzvorgaben verstößt. Neben Telekommunikationsunternehmen monieren auch Datenschützer und Netzaktivisten die Regelung. Die Frage ist sicher berechtigt, ob und unter welchen Bedingungen wir die Speicherung unserer Daten akzeptieren – vor allem anlasslos. Wünschenswert wäre ein vernünftiger Kompromiss, der den Zugang zu gespeicherten Daten kontrolliert und reguliert, ohne die Arbeit von Strafverfolgungsbehörden zu blockieren.



80

FOTO: BIGTUNAONLINE / ALAMY STOCK FOTO

Materialdesign: Auf herkömmliche Weise hergestellter Damaszener Stahl, wie er hier zu sehen ist, wird wegen seiner typischen Musterung heute meistens zur Zierde verwendet. Bei der Herstellung eines solchen Werkstoffs im 3D-Drucker geht es dagegen darum, Materialien, die sich mit dieser Technik verarbeiten lassen, mit vielfältigeren Eigenschaften auszustatten.

LEGENDE AUS DEM 3D-DRUCKER

81

TEXT: KARL HÜBNER

Im Altertum war er das Material der Wahl für Schwertklingen. Jetzt hat ein Team des Max-Planck-Instituts für Eisenforschung in Düsseldorf und des Fraunhofer-Instituts für Lasertechnik in Aachen eine Technik entwickelt, mit welcher sich eine Art Damaszener Stahl im 3D-Drucker fertigen lässt. Solche Verbundwerkstoffe könnten für Bauteile in der Luft- und Raumfahrt oder für Werkzeuge interessant sein.



Materialschmiede im Licht: Die Energie des Lasers lässt sich beim 3D-Druck von Metallen nicht nur nutzen, um pulverförmige Ausgangsstoffe zu schmelzen und zu komplexen Bauteilen zu verarbeiten, sondern auch, um Umwandlungen der Metallstruktur zu bewirken.

Aus der Not geboren und zur Legende geworden: Schmiede des Altertums konnten die Eigenschaften von Eisenlegierungen nur über deren Kohlenstoffgehalt beeinflussen. Dadurch erhielten sie entweder einen zähen, aber weichen oder einen harten, jedoch spröden Stahl. Insbesondere für Schwerter war aber ein zähes und hartes Material gefragt, damit die Kämpfer sich nicht aus der Schlacht zurückziehen mussten, entweder weil ihnen die Schwertklinge gebrochen war oder um diese wieder gerade zu biegen.

Schon keltische Schmiede kombinierten daher verschiedene Eisenlegierungen – anfangs vielleicht nur, um das wertvolle Eisen wiederzuverwerten – und erhielten so den Stoff, der später als Damaszener Stahl oder Damast bekannt wurde. Den Namen verdankt der Verbundwerkstoff orientalischer Herkunft dem Handelsplatz, über den er nach Europa kam. Doch während indischer und arabischer Damast durch einen ausgeklügelten Verhüttungsprozess entstanden, entwickelten europäische Schmiede die Kunst, zwei Le-

gierungen zu vielen dünnen Schichten zu falten. Dieser schichtartige Aufbau von Damaszener Stahl ist dabei in der Regel auch optisch an einem charakteristischen Streifenmuster zu erkennen.

Zwar gibt es heute Eisenlegierungen, die zugleich hart und zäh sind, sie lassen sich aber häufig nicht gut mit 3D-Druckern, dem Mittel der Wahl für viele komplexe oder individuell gestaltete Bauteile, verarbeiten. Aus diesem Grund haben Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler des

AUF DEN PUNKT GEBRACHT

Ein Team des Max-Planck-Instituts für Eisenforschung und des Fraunhofer-Instituts für Lasertechnik entwickelt Legierungen für den 3D-Druck.

Kürzlich präsentierten die Forschenden eine Technik, mit der sich direkt beim 3D-Druck aus einem einzigen Ausgangsmaterial eine Art Damaszener Stahl erzeugen lässt, der aus abwechselnd harten und zähen Schichten besteht.

Durch die Veränderung verschiedener Parameter wie etwa der Pausenzeiten, der Laserenergie oder der Geschwindigkeit beim 3D-Metalldruck lassen sich neben der Härte möglicherweise auch andere Eigenschaften lokal einstellen.

Max-Planck-Instituts für Eisenforschung und des Fraunhofer-Instituts für Lasertechnik eine Technik entwickelt, mit der sich direkt beim 3D-Druck aus einem einzigen Ausgangsmaterial ein Stahl erzeugen lässt, der abwechselnd aus harten und duktilen, das heißt zähen Schichten aufgebaut ist – eine Art Damaszener Stahl also. „Damit können wir schon während des 3D-Drucks gezielt die Mikrostruktur der einzelnen Schichten verändern, sodass das finale Bauteil die gewünschten Eigenschaften erhält –

und dies ganz ohne eine nachträgliche Wärmebehandlung des Stahls“, sagt Philipp Kürnsteiner, Postdoktorand am Max-Planck-Institut für Eisenforschung.

3D-Drucker für die additive Fertigung, wie die Technik im Fachjargon heißt, haben innerhalb weniger Jahre Einzug in viele industrielle Bereiche gehalten. Neben Kunststoffteilen lassen sich damit längst auch Metallgegenstände herstellen. Dabei wird die jeweilige Legierung in fein pulverisierter Form zugeführt, von einem

Laserstrahl geschmolzen und dann Schicht für Schicht auf dem herzustellenden Werkstück aufgetragen. Seit einigen Jahren entstehen unter anderem Einspritzdüsen für Flugzeugtriebwerke mit der Methode der additiven Fertigung, die auch Laser-auftragsschweißen heißt.

Der Laserstrahl ermöglicht es aber nicht nur, das jeweilige Material zu schmelzen. Mit ihm lässt sich, ganz nebenbei, auch die oberste Schicht des bereits wieder erstarrten Metalls erwärmen. Genau dies nutzte das Team um die Düsseldorfer Max-Planck-Forschenden, um in einzelnen Metallschichten gezielt die Kristallstruktur des Stahls zu verändern – und so die mechanischen Eigenschaften zu beeinflussen, ohne die chemische Zusammensetzung zu verändern. **83**

Dafür entwickelten sie eigens eine Legierung, die aus Eisen, Nickel und Titan besteht. Zunächst ist diese Legierung relativ weich. „Unter bestimmten Voraussetzungen bilden sich jedoch kleine Nickel-Titan-Mikrostrukturen, welche dann für eine besondere Härte sorgen“, erklärt Philipp Kürnsteiner. Diese Ausscheidungen verhindern, dass es zu den charakteristischen Verschiebungen innerhalb des Kristallgitters kommt, wenn das Material mechanisch belastet wird und sich plastisch verformt.“

→



Druckfrisches Metall: Philipp Kürsteiner nimmt die würfelförmige Probe eines Stahls in Augenschein, der aus abwechselnd zähen und harten Schichten besteht. Den Werkstoff hat der Forscher über eine ausgeklügelte Steuerung des 3D-Drucks erzeugt.

FOTO: FRANK VINKEN / DWB

84

Um die Nickel-Titan-Strukturen erzeugen zu können, unterbrachen die Forscher den Druckprozess nach jeder neu aufgetragenen Schicht für eine bestimmte Zeit. Währenddessen kühlte sich das Metall auf unter

195 Grad Celsius ab. „Unterhalb dieser Temperatur setzt im Stahl eine Umwandlung der Kristallstruktur ein“, erklärt Eric Jäggle, Leiter der Gruppe „Legierungen für die additive Fertigung“ am Max-Planck-In-

stitut für Eisenforschung und seit Januar 2020 auch Professor an der Universität der Bundeswehr München. „Es entsteht die sogenannte Martensit-Phase, und nur in dieser können die Nickel-Titan-Mikro-

strukturen entstehen.“ Damit sich die Ausscheidungen auch wirklich bilden, ist aber eine erneute Erwärmung notwendig. Dafür nutzen die Forscher die Laserenergie, mit der die nächste Schicht gedruckt wird.

„Intrinsische Wärmebehandlung“ nennen die Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler diesen zusätzlichen Effekt durch den Laserstrahl des 3D-Druckers. Lagen, die ohne eine Pause direkt mit der nächsten Schicht überzogen wurden, bleiben hingegen weicher, weil sie zu diesem Zeitpunkt noch nicht als Martensit vorliegen. Von den mechanischen Eigenschaften des so produzierten Materials ist Philipp Kürnsteiner beeindruckt: „Die Versuche haben eine hervorragende Kombination von Festigkeit und Duktilität bestätigt.“

Um die Mikrostrukturen während des 3D-Druckens zu beeinflussen, eignen sich verschiedene Stellschrauben des Prozesses. Zusätzlich zur oder statt der Pausenzeit, die das Team in der aktuellen Studie variiert hat, lassen sich die Bildung des Martensits und die anschließende Härtung durch die Ausscheidungen auch steuern, indem man die Laserenergie, den Laserfokus oder die Druckgeschwindigkeit variiert oder externe Heiz- und Kühltechniken einsetzt, erklärt Eric Jäggle.

In ihren Experimenten stellen die Forscher würfel- oder quaderförmige Stahlstücke mit Seitenlängen von wenigen Zentimetern her. Die dabei gewonnenen Erkenntnisse lassen sich dann auch auf Objekte mit komplexeren Geometrien übertragen, für die der computergesteuerte 3D-Druck interessant ist. Zudem ist der Damaszener-artige Stahl mit den periodisch wechselnden Schichten nur ein Beispiel für die Möglichkeit, die Mikrostruktur einer Legierung bereits während des Herstellungsprozesses lokal zu beeinflussen. Zum Beispiel sei es genauso gut möglich, Werkzeugbauteile mit einem durchgehend wei-

chen Kern zu erschaffen, die dann von einer harten, abriebfesten äußeren Schicht umgeben sind, erklärt Eric Jäggle: „Dank unseres Konzepts der lokalen Kontrolle ließe sich das in einem einzigen Fertigungsschritt realisieren – ganz ohne die bisher für eine Oberflächenhärtung nötigen weiteren Verfahrensschritte.“ Denkbar, so die Forscher, sei es eventuell auch, mit der Technik nicht nur die Härte, sondern auch weitere Eigenschaften wie beispielsweise Korrosionsbeständigkeit lokal gezielt einzustellen.

Philipp Kürnsteiner weist schließlich noch auf einen Paradigmenwechsel hin, der mit dem neuen Ansatz im Design von Legierungen verbunden ist: „Bisher ist es üblich, im 3D-Druck konventionelle Legierungen zu verwenden. Doch viele bekannte Stähle sind für die additive Fertigung nicht optimal geeignet. Unser Ansatz ist es nun, Legierungen so zu entwickeln, dass sich mit ihnen das volle Potenzial des 3D-Drucks ausschöpfen lässt.“

GLOSSAR

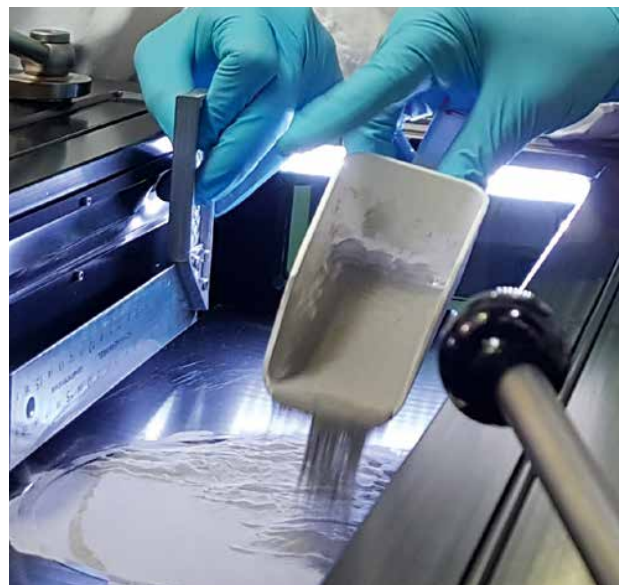
3D-DRUCK

Diese auch additive Fertigung genannte Technik ermöglicht es, kompliziert geformte oder individuell gestaltete Bauteile schichtweise aufzubauen. Ursprünglich wurde das Verfahren für die Verarbeitung von Kunststoffen entwickelt, es lässt sich inzwischen aber auch für Metalle und andere Werkstoffe verwenden.

VERBUNDWERKSTOFF

Er kombiniert Materialien verschiedener Eigenschaften. Ein typisches Beispiel: Verpackungen aus kunststoffbeschichtetem Karton. Damaszener Stahl besteht aus unterschiedlich harten Eisenlegierungen und ist aus diesem Grund gleichzeitig hart und zäh.

Für das Legierungsdesign bei der additiven Fertigung bereiten die Max-Planck-Forschenden zunächst ein Pulverbett vor, in dem ein Laser anschließend direkt bei der Herstellung von Bauteilen schichtweise den gewünschten Werkstoff erzeugt.





Das Volk auf der Straße: Im Oktober 2019 gab es in Santiago de Chile heftige Proteste gegen die Regierung, ausgelöst durch eine Erhöhung der Metro-Fahrpreise.

86

Max-Planck-Wissenschaftler kooperieren mit Partnern in mehr als 120 Ländern. Hier schreiben sie über ihre persönlichen Erfahrungen und Eindrücke. Felipe González, assoziierter Wissenschaftler am Max-Planck-Institut für Gesellschaftsforschung, ist Leiter der Max Planck Partner Group for the Study of the Economy and the Public in Santiago de Chile. Er berichtet über das Projekt, über soziale Unruhen in Chile – und erinnert sich an den Kulturschock während seiner Zeit in Deutschland.

Frühjahr 2020. Die ganze Welt in der Corona-Schockstarre, und Chile macht hier natürlich keine Ausnahme. Dennoch bin ich der Meinung, dass das Virus und die Social-Distancing-Maßnahmen über die Bevölkerung Chiles zu einem besonders ungünstigen Zeitpunkt hereinbrachen. Vor Corona fanden in Santiago und an

deren chilenischen Städten heftige Demonstrationen statt – und das bereits seit Oktober 2019. Ausgelöst wurden die Proteste durch eine Erhöhung der Preise für Metro-Fahrkarten. Ein Minister goss zusätzlich Öl ins Feuer, als er sagte, die Leute müssten einfach früher aufstehen – dann seien die Tickets billiger. Rückblickend war dies der Tropfen, der das Fass zum Überlaufen brachte. Die gesellschaftlichen Ursprünge der Unruhen indes liegen bereits 20 oder 30 Jahre zurück.

Egal ob Gesundheit oder Bildung, in Chile ist fast alles privatisiert. Viele Menschen können sich deshalb eine angemessene medizinische Grundversorgung oder ein Studium nicht leisten – was zu einer zunehmenden sozialen Ungleichheit führt. Als die Regierung die Ticketpreise erhöhte, schlug die Unzufriedenheit in Proteste um. Tausende Chilenen gingen auf die Straße und skandierten: „Gebt uns unsere Würde!“

Kurz vor dem Corona-Ausbruch schienen die Proteste Erfolg zu haben. Das

Parlament veranlasste eine Volksbefragung darüber, ob die Verfassung, die während der Diktatur unter Pinochet geschrieben wurde, geändert werden sollte. Denn erst die Verfassung legitimiert die Privatisierung und ist daher in den Augen vieler Menschen der Ursprung der Ungleichheit. Dann aber verhängte die Regierung den Lockdown und verschob die Abstimmung auf Oktober. Nun weiß niemand, was daraus wird. Vor Corona hatten die Demonstranten das Momentum auf ihrer Seite; die Politiker spürten den gesellschaftlichen Druck. Diese Stimmung könnte im Oktober verfliegen sein, obwohl die Pandemie die Ungleichheit und das defizitäre Gesundheitssystem umso mehr offenlegt.

Für Wirtschaftssoziologen wie mich ist Chile der ideale Ort, um die gesellschaftlichen Wurzeln der Wirtschaft zu erforschen. Seit Beginn dieses neoliberalen Experiments wird das Land von Ökonomen beherrscht. Und aufgrund des privatisierten Systems finden sich viele Verbindungen zwischen wirtschaftlichen und sozia-



SANTIAGO DE CHILE, CHILE

len Aspekten. Dennoch habe ich während meines gesamten Soziologiestudiums nichts über Wirtschaftssoziologie gelernt, weshalb ich selbst dazu recherchierte und dabei auf das Max-Planck-Institut für Gesellschaftsforschung stieß. Ich konnte mein Glück kaum fassen, als ich dort eine Doktorandenstelle erhielt.

Nachdem ich meine Promotion beendet und noch einige Zeit am Institut geforscht hatte, entschied ich mich, nach Chile zurückzugehen. Es war für mich jedoch klar, dass ich mit Deutschland, Köln und vor allem dem Institut weiter verbunden bleiben möchte. Die Max-Planck-Partnergruppe, die ich seit Januar leite, ist daher der ideale Kompromiss. Ein Ziel der Gruppe: Wirtschaftssoziologie in Chile bekannter zu machen. Es gibt eine wachsende Community junger Studierender, die sich für dieses Thema interessieren. Für sie soll die Partnergruppe als Treffpunkt dienen. Zugleich soll sie eine Brücke schlagen zwischen Chile und der Max-Planck-Gesellschaft – und zwischen Chile und Deutschland.

Die Kulturen beider Länder könnten unterschiedlicher kaum sein, was ich selbst erlebte, als ich 2011 nach Köln zog. In Lateinamerika sind die Leute grundsätzlich entspannt, sie unterhalten sich lautstark auf der Straße, und vieles wird eher locker gehandhabt. In Deutschland schien es dagegen für alles strikte Regeln zu geben: Man trennt den Müll, man läuft nur auf dem Bürgersteig, und im Zug wird nicht telefoniert! Sobald ich jedoch einmal die wichtigsten Gepflogenheiten verinnerlicht hatte, spürte ich beinahe unbegrenzte Freiheit.

Köln versprüht meiner Ansicht nach sogar etwas lateinamerikanisches Flair. Natürlich auch wegen des Karnevals; die Kölnerinnen und Kölner sind aber grundsätzlich von ihrem Wesen her sehr offen und warmherzig. Wie oft ich im Bus oder auf der Straße mit fremden Leuten ins Gespräch gekommen bin! In anderen Regionen Deutschlands habe ich diese Erfahrungen nicht gemacht. In Köln jedenfalls habe ich Freundschaften geschlossen, die sicher mein Leben lang halten werden.



FOTO: PRIVAT

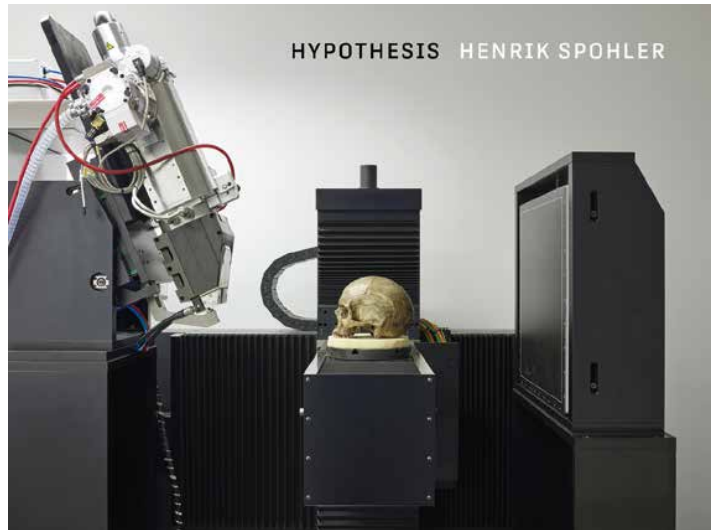
Felipe González

35, studierte Soziologie an der Alberto-Hurtado-Universität in Santiago de Chile. Er arbeitete als wissenschaftlicher Assistent beim Entwicklungsprogramm der Vereinten Nationen und an der Lateinamerikanischen Fakultät für Sozialwissenschaften. Zwischen 2011 und 2016 promovierte er am Max-Planck-Institut für Gesellschaftsforschung in Köln. Seit Januar 2020 leitet er die Max Planck Partner Group for the Study of the Economy and the Public in Santiago de Chile.

RÄTSELHAFTE ÄSTHETIK

Wenn Wissenschaft abstrakt wird, macht sie das meistens nicht zugänglicher. Im Bildband von Henrik Spohler ist das anders. Der Hamburger Fotograf fängt die Standorte von Teleskopen sowie physikalische und biologische Labore oder Apparaturen so ein, dass sie ihre Räumlichkeit verlieren und in vielen Fällen auf rein geometrische Konstruktionen und Flächen reduziert werden. Auch wenn Labore im Alltag selten so verwaist und aufgeräumt, ja geradezu steril sein dürften, machen doch gerade diese Inszenierungen klar, was für den Erfolg der meisten Experimente entscheidend ist: extrem aufwendige, technische Meisterleistungen, absolute Präzision und Ausschluss aller Störfaktoren, von denen Staub und Erschütterungen nur die banalsten sind. So kühl-ästhetisch die Aufnahmen wirken, so wenig erschließt sich durch die Bilder allein, welche Fragen Forschende mit den abgebildeten Instrumenten beantworten wollen. Die kurzen, verständlichen Be-

88



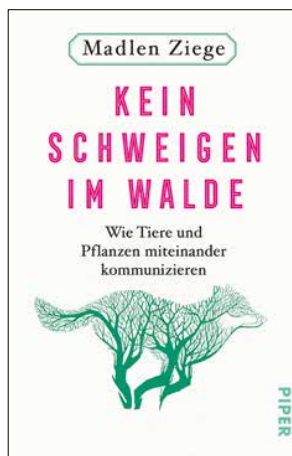
gleittexte in Deutsch und Englisch helfen, diese Rätsel zu lösen. Sie enthalten zwar die eine oder andere Ungenauigkeit, vermitteln dem Leser jedoch eine gute Vorstellung, welchen technischen Fortschritt oder Erkenntnisgewinn Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler mit den Experimenten erreichen möchten. Dabei wird klar: Je detaillierter wir die Welt und das Leben verstehen möchten, desto aufwendiger werden die Versuche, um die entsprechenden Fragen zu beantworten. Mit seinen Fotogra-

fien erleichtert Henrik Spohler uns den Zugang zu den komplexen Zusammenhängen hinter den Experimenten, denn er vermittelt deren Faszination über die Ästhetik.
Peter Hergersberg

Henrik Spohler
Hypothesis
112 Seiten, Hartmann Books
34,00 Euro

OHNE WORTE

Alles, was lebt, kommuniziert – über optische Signale, Laute oder chemische Botenstoffe. Vieles davon passiert von uns unbemerkt: Räuberische Pilze etwa locken mit unwiderstehlichen Düften winzige Fadenwürmer an, um sie in Schlingen aus Zellfäden einzufangen. Manche Leuchtkäfer-Weibchen imitieren die Lichtsignale anderer Leuchtkäferarten mit dem Ziel, artfremde Männchen zur vermeintlichen Paarung einzuladen und sie stattdessen aufzufressen. Madlen Ziege, Verhaltensbiologin mit einem Faible für Biokommunikation, trägt in ihrem Buch zahl-



reiche solcher Geschichten zusammen, die zeigen, wie Tiere, Pflanzen, Pilze oder Einzeller Informationen senden und empfangen. Bei aller Vielfalt der Kommunikationsmittel geht es doch immer wieder um die gleichen Themen: um Liebesangelegenheiten oder darum, zu fressen und gefressen zu werden. Neben etlichen Beispielen liefert die Autorin auch Grundlagen: Wie sind die Empfangsstationen – sprich Rezeptoren und Sinnesorgane – verschiedener Organismen aufgebaut? Nach welchen Prinzipien funktioniert eine Nervenzelle, die die ein-

gehenden Informationen filtert und weiterleitet? Das Buch bietet einen Überblick sowie ein umfangreiches Quellenverzeichnis für diejenigen, die tiefer einsteigen möchten. Zum Nachschlagen wäre ein Register nützlich. Da Madlen Ziege ihre Forschung gerne bei Science Slams präsentiert, beherrscht sie es, amüsant und im lockeren Plauderton über ihr Thema zu schreiben – gelungene „Biokommunikation“ im besten Sinne!
Elke Maier

Madlen Ziege
Kein Schweigen im Walde
240 Seiten, Piper Verlag
22,00 Euro



NEU ERSCHIENEN

DIE WIEGE DES MENSCHSEINS

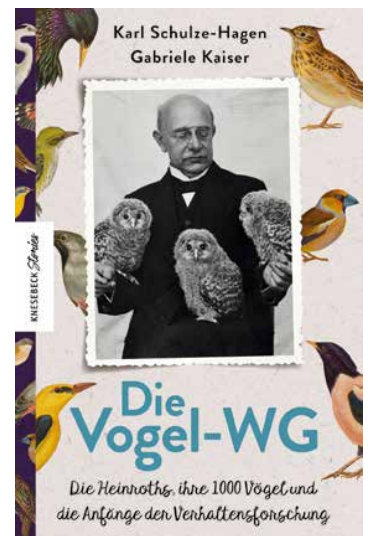
Viele Eltern und Erzieher glauben, sie müssten Empathie und soziales Verhalten bei Kindern fördern. Laut dem Psychologen Michael Tomasello ist das aber nicht unbedingt notwendig: Menschenkinder erlernen demnach beinahe automatisch Fähigkeiten, die für das soziale Zusammenleben wichtig sind. Frühkindliche Tendenzen zu gemeinsamem Handeln reifen im Verlauf der Kindheit schließlich zu einer „kollektiven Intentionalität“ heran – Kinder entwickelten sich also immer stärker hin zur eigenen Kulturgruppe mit dem Ziel, sich den jeweiligen sozialen Normen anzupassen. Hierin liegt, Tomasello zufolge, der entscheidende Unterschied zwischen Menschenkindern und dem Nachwuchs von Menschenaffen, dessen Kooperationsfähigkeit sich deutlich schwächer und in einem wesentlich engeren Rahmen ausbilde. Die Lesefreude wird zwar streckenweise behindert durch den schieren Umfang der Theorie der menschlichen Entwicklung, die Tomasello am Max-Planck-Institut für evolutionäre Anthropologie erarbeitet hat. Dessen ungeachtet liefert seine (Meta-)Analyse sowohl aus fachwissenschaftlicher als auch aus interdisziplinärer Sicht sehr spannende Erkenntnisse über die Entfaltung sozialen und moralischen Verhaltens im Menschen – wie diejenige über die Natur des Perspektivwechsels. Oder eben auch jene, wonach Erwachsene in einer grundsätzlich fürsorglichen Umgebung gut daran tun, Kinder öfter einfach machen zu lassen.

Anne-Kathrin Weber

Michael Tomasello
Mensch werden
542 Seiten, Suhrkamp
34,00 Euro

1000 SEITEN LEIDENSCHAFT

Kaum eine Tiergruppe wirkt auf den Menschen so faszinierend wie Vögel. Als „Vogelnarren“ oder „Ornithomanen“ bezeichnen die den gefiederten Geschöpfen Verfallenen sich manchmal selbst. Ganz oben auf einer Liste der leidenschaftlichsten Vogelliebhaber würde sich in jedem Fall Oskar Heinroth mit seiner ersten Ehefrau Magdalena wiederfinden. Das Ehepaar zog in seiner Berliner Mietwohnung zu Beginn des 20. Jahrhunderts innerhalb von 30 Jahren rund 1000 Vögel auf – vom winzigen Goldhähnchen bis zum Seeadler. Die Heinroths hatten sich zum Ziel gesetzt, die Entwicklung der Vögel Mitteleuropas in Wort und Bild festzuhalten. So entstand schließlich ein vierbändiges Werk mit mehr als 1000 Seiten und 500 Bildtafeln. Die beiden haben damit die moderne Verhaltensforschung in Deutschland begründet. Karl Schulz-Hagen und Gabriele Kaiser machen mit ihrem Buch die bislang kaum bekannten Pioniere der Verhaltensforschung einem breiteren Publikum zugänglich. Die ersten vier



Kapitel zeichnen das Leben des vogelbegeisterten Paares nach. Für den zweiten Teil haben die Autoren die originellsten Passagen des Originaltextes gesammelt. Knapp 100 Vogelporträts kommen so zusammen, ergänzt durch Aufnahmen der Heinroths, die wie durch ein Wunder die Kriegswirren im Aquarium des Berliner Zoos überstanden haben. Das Buch lebt vor allem von den unzähligen Anekdoten über das Zusammenleben von Mensch und Tier auf engstem Raum. Kein Wunder, dass von den vielen Besuchern der Vogel-WG „keiner ungelacht von dannen gezogen ist“.

Harald Rösch

Karl Schulz-Hagen,
Gabriele Kaiser
Die Vogel-WG
272 Seiten, Knesebeck Verlag
22,00 Euro



FÜNF FRAGEN

ZU ÜBERDÜNGUNG UND ARTENVIELFALT

AN SÖNKE ZAEHLE

Viele besonders artenreiche Ökosysteme enthalten wenig Nährstoffe. Herr Zaehle, ist Düngen folglich schlecht für die Artenvielfalt?

90 SÖNKE ZAEHLE Für viele Lebensräume stimmt das. Denken Sie zum Beispiel an nährstoffarmes Grasland in den gemäßigten Breiten: In Deutschland zählen solche Wiesen zu den artenreichsten Lebensräumen. Eine Vielzahl von Studien zeigt, dass die Artenvielfalt mit zunehmender Nährstoffanreicherung abnimmt. Stickstoff und Phosphor spielen dabei die wichtigste Rolle. In Mitteleuropa begrenzt die Verfügbarkeit von Stickstoff die Produktivität der meisten Landökosysteme, auf stark verwitterten Böden in den tropischen Regenwäldern ist es dagegen eher Phosphor.

Welche Folgen hat ein hohes Nährstoffangebot?

Nährstoffreiche Ökosysteme begünstigen oft wenige Arten, die an solche Bedingungen besonders gut angepasst sind und schneller wachsen können. Diese konkurrenzstarken Arten nehmen anderen Pflanzen dann Licht und Raum. Sind dagegen von vornherein nur wenig Nährstoffe zu verteilen, dann haben auch die vielen weniger konkurrenzstarken Arten eine Chance. Allerdings muss man berücksichtigen, dass natürlich auch andere Faktoren wie zum Beispiel das Klima eine bedeutende Rolle spielen. Hinzu kommt, dass sich auch der Nährstoffgehalt der Pflanzen selbst ändern kann. Mit Stickstoff gedüngte Pflanzen la-

gern zum Beispiel mehr Stickstoff ein. Da pflanzenfressende Tiere an einen bestimmten Nährstoffgehalt ihres Futters angepasst sind, können solche Veränderungen den Stoffwechsel der Tiere beeinflussen und die Anzahl und Verbreitung dieser Arten verändern.

Wird in Deutschland zu viel gedüngt?

So pauschal kann man das nicht sagen, aber manche Regionen weisen ganz klar seit Langem einen deutlichen Nährstoffüberschuss auf. Hier besteht dringender Handlungsbedarf! Vor allem in Gebieten mit intensiver Schweine- und Rinderhaltung haben die Landwirte ein Problem mit der Entsorgung der anfallenden Ausscheidungen. Es werden dort mehr Tiere gehalten, als Fläche für die Entsorgung zur Verfügung steht. Landwirtschaftliche Düngung ist allerdings nicht die einzige Art von Nährstoffeinträgen in Ökosysteme. Auch Stickoxide aus den Abgasen von Autos oder Industrieanlagen tragen dazu bei. Dies ist einer der Gründe, warum sogar Gebiete nährstoffreicher werden, die gar nicht selbst gedüngt werden. In Wäldern zum Beispiel kann diese ungewollte Düngung über die Jahre hinweg zu sehr hohen Stickstoffwerten im Boden führen.

Wird die im Frühjahr verabschiedete Reform der Düngeverordnung etwas bewirken?

Die beschlossenen Maßnahmen gehen in die richtige Richtung. Ob sie ausreichen und sich so umsetzen lassen, das wird sich

zeigen. Grundsätzlich sollte die Düngemenge an den tatsächlichen Nährstoffbedarf der Pflanzen und den Standort angepasst werden. Außerdem ist wichtig, die Stickstoffverluste bei der Düngung durch effizientere Ausbringungsmethoden oder angepasste Düngekalender zu verringern. Auf diese Weise könnte man die Nährstoffeinträge in der Landwirtschaft reduzieren und damit auch die Einträge in anderen Ökosystemen.

Wie effektiv sind solche Einzelmaßnahmen?

Das Düngeproblem geht über die Fragen „Wie viel darf gedüngt werden?“ und „Wann darf gedüngt werden?“ hinaus. Wir müssen möglichst bald zu geschlossenen Stoffkreisläufen kommen. Es sollte also nur das an Nährstoffen hinzugefügt werden, was durch die Ernte entnommen worden ist. Ohne ein grundsätzliches Umdenken bei den Konsumenten und ohne eine Verringerung des Fleischkonsums wird sich aber das Problem der Überdüngung ganzer Landstriche nicht lösen lassen.

Interview: Harald Rösch

Dr. Sönke Zaehle vom Max-Planck-Institut für Biogeochemie in Jena erforscht, wie sich Nährstoffe auf die Stoffkreisläufe von Ökosystemen auswirken.

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

Niederlande

- Nimwegen

Italien

- Rom
- Florenz

USA

- Jupiter, Florida

Brasilien

- Manaus

Luxemburg

- Luxemburg



IMPRESSUM

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

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

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

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

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

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

Bildredaktion
 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

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®).



MAX PLANCK
GESELLSCHAFT

