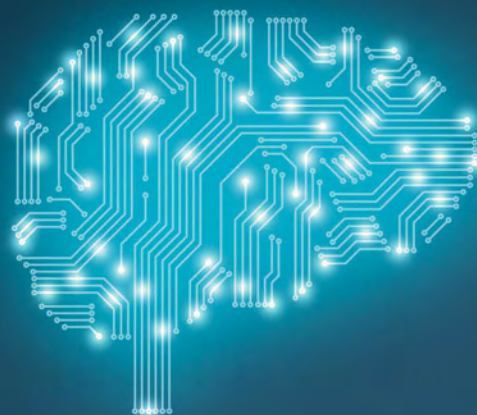


Max Planck FORSCHUNG

Das Wissenschaftsmagazin der Max-Planck-Gesellschaft 4.2019



Lernen

FORSCHUNGSPOLITIK

Demokratie braucht
Wissenschaft

KERNPHYSIK

Teilchenjäger
auf Fährtenuche

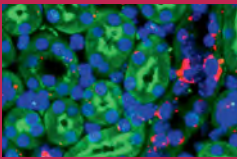
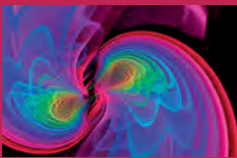
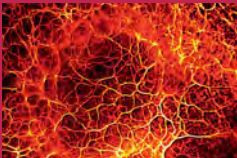
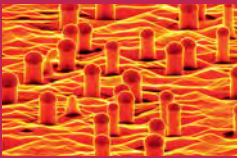
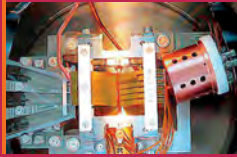
UMWELT

Brandwunden
im Regenwald

KONFLIKTFORSCHUNG

Die Muster
des Terrors

Connecting Science and Business.



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

Connecting Science and Business


www.max-planck-innovation.de



Start zu den Sternen

Die Reise ins All beginnt mit einer langen Anfahrt: Ungefähr 24 Stunden ist unterwegs, wer von München nach Baikonur gelangen will – irgendwo im Nirgendwo, etwa 200 Kilometer östlich des Nördlichen Aralsees. Nahe der Stadt mit ihren 60 000 Einwohnern, einigen brauchbaren Hotels und guten Restaurants liegt das Kosmodrom, von dem aus seit 1957 Raketen starten – erst sowjetische, jetzt russische. Über die Jahre zerplatzte an diesem Ort buchstäblich so mancher Traum, viele Träume aber wurden wahr. So etwa am 13. Juli 2019, als um 14.31 Uhr Mittel-europäischer Sommerzeit eine dreistufige Rakete vom Typ Proton-M in den makellos blauen Himmel über der 43 Grad heißen kasachischen Steppe donnerte. Am Boden: Wissenschaftler aus dem Max-Planck-Institut für extraterrestrische Physik. In der Raketenspitze: *eRosita*.

Das unter Leitung des Garching Instituts von einem Konsortium deutscher Forschungseinrichtungen entwickelte und gebaute Röntgenteleskop flog huckepack mit der russischen Raumsonde *Spektrum-Röntgen-Gamma* zu seinem Beobachtungsposten in eineinhalb Millionen Kilometer Entfernung von der Erde. Dort draußen, weit jenseits des Mondes, wird der irdische Späher in den nächsten vier Jahren das gesamte Firmament durchmustern und die erste vollständige Karte im mittleren Röntgenbereich erstellen.

Bevor die Forscher aufatmen konnten, wurden sie auf eine harte Probe gestellt: Der Start musste wegen Problemen mit der Rakete dreimal verschoben werden. Doch am 13. Juli klappte alles vorbildlich. *eRosita* überstand den Lift-off unbeschadet und nahm anschließend planmäßig Kurs auf sein Ziel. Zwar verzögerte sich die Inbetriebnahme des Observatoriums ein wenig, doch blicken seit dem 13. Oktober alle sieben Module des Röntgenteleskops gleichzeitig in den Himmel; seine maßgeschneiderten CCD-Kameras arbeiten einwandfrei. Die ersten zusammengesetzten Bilder zeigen den Nachbarn unserer Milchstraße, die Große Magellansche Wolke, sowie zwei miteinander wechselwirkende Galaxienhaufen in einer Entfernung von rund 800 Millionen Lichtjahren. Die Astronomen jubeln, die lange Reise in die Steppe am Ende der Welt hat sich gelohnt.



18 LERNEN

18 Raus mit der Sprache

Dass Kinder irgendwann zu sprechen beginnen, scheint uns selbstverständlich. Doch das Erlernen der Sprache ist eine geistige Höchstleistung, die bis heute noch nicht komplett verstanden ist. An den Max-Planck-Instituten für Psycholinguistik und für Kognitions- und Neurowissenschaften erkunden Wissenschaftlerinnen, wie Kinder sich scheinbar mühelos dieses komplexe Kommunikationssystem aneignen.

26 Finken in der Singschule

Bei Zebrafinchen fällt kein Meistersänger vom Himmel. Jeder Jungvogel muss zunächst Gesangsunterricht nehmen. Singvögel sind deshalb gute Modellorganismen dafür, wie Lernvorgänge bei Wirbeltieren ablaufen. Ein Team am Max-Planck-Institut für Ornithologie erforscht an verschiedenen Singvogelarten, wie diese ihren Gesang erlernen und was dabei im Gehirn vorgeht.

32 Auge in Auge mit dem Rechner

Die Augen sind unser Fenster zur Welt, sie verraten aber auch viel über uns. Das nutzen Forscher am Max-Planck-Institut für Informatik und an der Universität Stuttgart aus, wenn sie Computern beibringen, unsere Augenbewegungen zu deuten. Letztlich wollen sie Roboter auf diese Weise in puncto Kommunikation auf Augenhöhe mit uns bringen.

ZUM TITEL Lernen, also der Erwerb von Fähigkeiten, folgt komplexen Regeln und Grundsätzen – ob beim Menschen, im Tierreich oder in der Welt der Computer. Auf jeden Fall erfordert das Lernen von Lebewesen geistige Höchstleistung, sei es beim Spracherwerb im Kindesalter oder wenn sich Vögel den Gesang aneignen. Für maschinelles Lernen hingegen braucht es ausgefeilte Algorithmen und große Datensätze, damit ein Rechner etwa menschliche Augenbewegungen deuten kann.

Inhalt



10 Im Dialog: Bundespräsident Steinmeier fordert von der Wissenschaft den Austausch mit der Gesellschaft.

PERSPEKTIVEN

- 06** Hohe Auszeichnung für zwei US-Sozialwissenschaftler
- 06** Wissenschafts-Oscars für Max-Planck-Forscher
- 07** „Für die Keimzell-Therapie gibt es keinen Grund“
- 08** Quantentricks per Knopfdruck
- 08** Ins Netz gegangen
- 09** Lizenz für neue Wirkstoffe gegen Parkinson

ZUR SACHE

- 10 Demokratie braucht Wissenschaft**
In Zeiten, da sich die gesellschaftlichen Gruppen immer mehr voneinander abkapseln, droht auch die Wissenschaft zu einer Meinungsblase unter vielen zu werden. Daher fordert Bundespräsident Frank-Walter Steinmeier, dass die Wissenschaft das Gespräch mit Gesellschaft und Politik suchen sollte.

FOKUS

- 18** Raus mit der Sprache
- 26** Finken in der Singschule
- 32** Auge in Auge mit dem Rechner



46 Im Dunkeln: Teilchenphysiker suchen bisher vergeblich nach neuen Impulsen, um die Welt zu erklären.



52 Im Virtuellen: Derek Dreyer erforscht Programmiersprachen und nutzt dabei Informatik und Mathematik.



58 Im Feuer: Brände setzen dem Regenwald zu und beeinflussen damit letztlich das regionale und globale Klima.

SPEKTRUM

- 40** Die All-Chemie von Neutronensternen
- 40** Zweiklassengesellschaft in der Bronzezeit
- 41** In guter Gesellschaft
- 41** Gesundheit in späten Jahren ist eine Lebensaufgabe
- 41** Schwergewicht im Herzen von Abell 85
- 42** Kinder verlängern das Leben
- 42** Gedachte Bewegungen können das Gehirn verändern
- 42** Weniger ist mehr
- 43** Jede Maus ist anders
- 43** Atomuhren kommen zum Kern
- 44** Nanokeramik aus der Kugelmühle
- 44** Magnetare – einfach unwiderstehlich
- 45** Tödliche Netze
- 45** Burg für sensible Daten

PHYSIK & ASTRONOMIE

- 46 Teilchenjäger auf Fährten Suche**
Mit dem Nachweis des Higgs-Teilchens gelang ein großer Wurf. Andere erwartete oder unerwartete Entdeckungen, mit denen die Physik das Erscheinungsbild unserer Welt erklären wollte, blieben jedoch aus. Forscher an den Max-Planck-Instituten für Gravitationsphysik und für Physik suchen neue Perspektiven.

MATERIAL & TECHNIK

- 52 Der digitale Sprachkünstler**
Zur Person: Derek Dreyer

UMWELT & KLIMA

- 58 Brandwunden im Regenwald**
Im Sommer 2019 gab es in Brasilien so viele Waldbrände wie kaum jemals zuvor. Welche Konsequenzen die immensen Verluste an Regenwald für das lokale, aber auch das globale Klima haben, ergründen Wissenschaftler am Max-Planck-Institut für Biogeochemie.

KULTUR & GESELLSCHAFT

- 66 Die Muster des Terrors**
Terrorismus macht Angst. Wir fühlen uns hilflos, weil das Vorgehen der Täter so wenig nachvollziehbar erscheint. Doch auch Terrorgruppen agieren nach gewissen Regeln. Welche das sind, untersucht eine Gruppe am Max-Planck-Institut für ethnologische Forschung.

RUBRIKEN

- 03 Orte der Forschung**
- 16 Post vom – Mississippi**
Im Kanu die Geschichte erfahren
- 38 Infografik**
Auf und Ab in der Vogelwelt
- 74 Rückblende**
Die Beobachterin
- 76 Neu erschienen**
- 76** Matías Dewey, Caspar Dohmen, Nina Engwicht, Annette Hübschle, Schattenwirtschaft
- 77** Heinz Krimmer, Aliens der Ozeane
- 78** Florian Freistetter, Eine Geschichte des Universums in 100 Sternen
- 79 Standorte**
- 79 Impressum**



Hohe Auszeichnung für zwei US-Sozialwissenschaftler

Verleihung des Max-Planck-Humboldt-Forschungspreises und der Max-Planck-Humboldt-Medaille in Berlin

Ufuk Akcigit von der Universität Chicago ist der diesjährige Träger des Max-Planck-Humboldt-Forschungspreises. Der Wirtschaftswissenschaftler erhielt die Auszeichnung für seine herausragenden Leistungen auf dem Gebiet der Makroökonomik. So hat er unter anderem deutliche Zusammenhänge zwischen Innovation und langfristigem Wirtschaftswachstum sowie zwischen Innovation und sozialer Mobilität nachgewiesen. Mit dem Preis ist ein Forschungsaufenthalt in Deutschland verbunden, den Akcigit am Leibniz-Institut für Wirtschaftsforschung in Halle verbringen wird. Dort möchte er die Ursachen für die wirtschaftliche Kluft zwischen Ost- und Westdeutschland untersuchen. Elliot Tucker-Drob von der Universität von Texas in Austin erhielt die Max-Planck-Humboldt-Medaille für seine Verdienste im Bereich der Persönlichkeits- und Entwicklungspsychologie. Er untersucht, wie soziale und biologische Prozesse die psychologische Entwicklung von Menschen über ihre gesamte Lebensspanne hinweg prägen. Michael Meister, Staatssekretär im Bundesforschungsministerium, Max-Planck-Präsident Martin Stratmann und der Präsident der Alexander von Humboldt-Stiftung, Hans-Christian Pape, überreichten die Auszeichnungen im Rahmen der Berlin Science Week im November 2019.

Frisch geehrt: Ufuk Akcigit und Elliot Tucker-Drob (von links) bei der Preisverleihung in Berlin.

Wissenschafts-Oscars für Max-Planck-Forscher

Zwei der hoch dotierten Breakthrough-Preise gehen an Franz-Ulrich Hartl und an die Event Horizon Collaboration

Franz-Ulrich Hartl, Direktor am Max-Planck-Institut für Biochemie in Martinsried, und sein US-amerikanischer Kollege Arthur L. Horwich sind zwei der Preisträger des Breakthrough Prize in Life Sciences 2020. Die beiden Forscher wurden für ihre Entdeckung der molekularen Proteinfaltungshelfer geehrt. In den Achtzigerjahren zeigten sie, dass – entgegen der gängigen Meinung – die meisten Proteine sogenannte Chaperone benötigen, um sich in die richtige Form zu falten. Fehlfaltete Proteine verklumpen und sind eine Hauptursache für schwerwie-

gende neurodegenerative Erkrankungen wie Alzheimer oder Parkinson. Den Breakthrough Prize in Fundamental Physics erhielt die Event Horizon Collaboration. Mit acht empfindlichen Radioteleskopen, die weltweit strategisch positioniert sind, hat das internationale Konsortium aus 60 Institutionen erstmals ein Bild von einem schwarzen Loch aufgenommen. Das Bonner Max-Planck-Institut für Radioastronomie und das Institut für Radioastronomie im Millimeterbereich (IRAM) haben dabei eine herausragende Rolle gespielt. Der Break-



Kunstvolle Trophäe: Die Preisträger des Breakthrough-Preises erhalten als Auszeichnung eine Skulptur des dänischen Künstlers Ólafur Elíasson.

through Prize wird jährlich in drei Kategorien vergeben, die mit jeweils drei Millionen Dollar so hoch dotiert sind wie keine andere wissenschaftliche Auszeichnung.

„Für die Keimzell-Therapie gibt es keinen Grund“

Stefan Mundlos vom Max-Planck-Institut für molekulare Genetik erklärt, warum es in absehbarer Zeit keine „Designerbabys“ geben wird

Als 2018 in China die ersten genetisch veränderten Kinder auf die Welt kamen, wurde vielen erst bewusst, wie weitreichend die Möglichkeiten der Genom-Editierung sind. Mit der Methode können Forscher die DNA präzise an einer bestimmten Stelle durchtrennen und so Gene ausschalten oder neue Abschnitte einfügen. Die Genom-Editierung von Zellen der menschlichen Keimbahn wirft zahlreiche wissenschaftliche und ethische Probleme auf. Der Ethikrat der Max-Planck-Gesellschaft hat 2019 ein ausführliches Diskussionspapier zur Genom-Editierung erarbeitet. Stefan Mundlos vom Max-Planck-Institut für molekulare Genetik in Berlin erörtert darin die Chancen und Risiken der Methode für die Medizin. Der Wissenschaftler, der selbst die Technik Crispr/Cas9 für seine Forschung einsetzt, hält die Sorge vor einer unkontrollierten Manipulation des menschlichen Erbguts für unbegründet.

Herr Mundlos, ist die Veränderung menschlicher Zellen ethisch vertretbar?

Stefan Mundlos: Es kommt darauf an, ob wir von normalen Körperzellen, den sogenannten somatischen Zellen, oder von Zellen der Keimbahn sprechen, also von Spermien und Eizellen. Somatische Zellen geben ihr Erbgut nicht weiter. Wird das Erbgut dieser Zellen also verändert, verschwindet die Mutation mit dem Tod des Patienten wieder. Ein solcher Eingriff zur Behandlung von Erbkrankheiten oder Krebs ist mit anderen zellbasierten Therapien vergleichbar und deshalb ethisch unproblematisch.

Und die Genom-Editierung von Zellen der Keimbahn?

Hier sieht es ganz anders aus. Die Aufgabe von Spermien und Eizellen ist ja, für Nachkommen zu sorgen. Sie geben also ihr Erbgut an die nachfolgende Generation weiter. Von Manipulationen der Keimbahn werden also Menschen betroffen sein, die zum Zeitpunkt der Veränderung noch gar nicht geboren sind und die deshalb auch nicht einwilligen können. Das ist ethisch

inakzeptabel. Da die Genom-Editierung auch noch nicht präzise genug ist und daher unbeabsichtigte Mutationen ausgelöst werden können, spricht sich die Max-Planck-Gesellschaft in ihrem Diskussionspapier zur Genom-Editierung klar gegen Eingriffe in die Keimbahn aus.

Wie sicher ist die Technik denn?

Crispr/Cas9 arbeitet zwar sehr präzise und schneidet die DNA fast immer an einer festgelegten Stelle. Aber trotzdem kann es auch zu Fehlern kommen. Derzeit arbeiten Forscher an noch exakteren und weniger fehleranfälligen Varianten. In jedem Fall werden wir veränderte Zellen immer genau überprüfen müssen, ob sie tatsächlich nur die gewünschten Mutationen tragen.

Welche Bedeutung wird die Genom-Editierung von Menschen künftig haben?

Die Veränderung normaler Körperzellen hat definitiv großes medizinisches Potenzial. Erkrankungen, die auf einer oder wenigen Mutationen beruhen wie zum Beispiel manche Leukämieformen, könnten damit therapiert werden. Ich bin sicher, dass wir schon in wenigen Jahren die ersten Patienten auf diese Weise behandeln können. Für die Keimzell-Therapie sehe ich dagegen keine Notwendigkeit, denn es gibt dazu gleichwertige und ethisch weniger problematische Alternativen. So können bei In-vitro-Befruchtungen mittels Präimplantationsdiagnostik die Embryonen für die Implantation ausgewählt werden, die keine schädlichen Mutationen tragen.

Viele Menschen befürchten, dass die Genom-Editierung nicht nur zur Behandlung von Krankheiten, sondern auch zur Optimierung menschlicher Eigenschaften genutzt werden wird. Werden wir in Zukunft dank der neuen Technik besonders intelligente oder groß gewachsene „Designerbabys“ haben?

Diese Gefahr sehe ich in absehbarer Zukunft nicht. Eigenschaften wie Intelligenz, Körpergröße und andere Eigenschaften, die man vielleicht gerne optimieren wür-



Stefan Mundlos

de, werden von sehr vielen Genen beeinflusst. Wir sind noch weit davon entfernt, diese Gen-Netzwerke zu verstehen, geschweige denn, sie manipulieren zu können. Möglicherweise wird das auch überhaupt nicht möglich sein, ohne an anderer Stelle unerwünschte Effekte auszulösen.

Manche Wissenschaftler fordern ein Moratorium, also eine freiwillige Selbstverpflichtung, keine Veränderung in der menschlichen Keimbahn vorzunehmen. Was halten Sie davon?

Ich glaube nicht, dass ein solches Moratorium effektiv wäre. Dafür ist der Kreis an Wissenschaftlern, die die Technik einsetzen können, zu groß. Irgendwo auf der Welt wird sich immer jemand finden, der sich nicht an das Moratorium gebunden fühlt. Und überhaupt: Wer soll die Einhaltung kontrollieren?

Ist die Manipulation des menschlichen Erbguts denn überhaupt nicht aufzuhalten?

Ich bin überzeugt, viel wirksamer als Verbote oder Selbstverpflichtungen wird der fehlende Nutzen einer Keimbahn-Therapie sein. Es wird dafür einfach keinen Grund und folglich keinen „Markt“ geben.

Interview: Harald Rösch

Quantentricks per Knopfdruck

Das Max Planck – New York City Center for Non-Equilibrium Quantum Phenomena in New York City startet



Bei der Einweihung: Max-Planck-Vizepräsident Ferdi Schüth (Mitte) mit Graham Michael Purdy von der Columbia University, James Simons von der Simons Foundation sowie Maya Tolstoy und Mary C. Boyce, beide von der Columbia University (von links).

In dem neuen Max Planck Center erforschen die Max-Planck-Institute für Struktur und Dynamik der Materie und für Polymerforschung gemeinsam mit der Columbia University und dem Flatiron Institute, wie sich die einzigartigen Eigenschaften von Quantenmaterialien steuern und verändern lassen. Ziel des New York City Center for Non-Equilibrium Quantum Phenomena ist es, diese Materialien für Anwendungen wie Quantencomputer und neuartige Mess- und Verschlüsselungsmethoden zu nutzen. Gemeinsam wollen die Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler Quantenmaterialien in instabilen Zuständen untersuchen. Mithilfe von Strom, Hitzeimpulsen, Photonenbeschuss oder Platzierung in Quantenhohlräumen werden diese Stoffe durcheinandergebracht. In solchen Nicht-Gleichgewichtszuständen können Materialien neue Eigenschaften annehmen und beispielsweise magnetisch, ferroelektrisch oder supraleitend werden. So sind die Forschenden in der Lage, durch die Steuerung dieser Prozesse Materialien für vielfältige und potenziell bahnbrechende Zwecke zu entwickeln. Im November 2019 wurde das neue Forschungszentrum an der Columbia University von allen vier Partnereinrichtungen offiziell eröffnet.

Ins Netz gegangen



Kammerflimmern hören

Eine der häufigsten Todesursachen der Welt – der plötzliche Herztod – wird meist ausgelöst durch Kammerflimmern. Dank einer neuen Ultraschall-diagnostik ist es nun möglich, das Phänomen besser zu verstehen. Im Interview mit dem Radiosender detektor.fm erklärt Stefan Luther vom Max-Planck-Institut für Dynamik und Selbstorganisation in Göttingen, welche Möglichkeiten die neue Technik eröffnet. Der Podcast ist in unserer Mediathek und über die Streamingdienste Deezer, Spotify, Apple und Google Podcasts zu hören.
www.mpg.de/podcasts/kammerflimmern

Eine fragile Grenze

Die Fotografin Herlinde Koelbl porträtiert in der Ausstellung „Psychische Erkrankungen im Blick“ Patienten und Mitarbeitende des Max-Planck-Instituts für Psychiatrie. Doch wer ist wer? Das wird bewusst offengelassen. Ziel des Projekts, das von dem Psychiater Leonhard Schilbach initiiert wurde, ist es, psychische Erkrankungen zu entstigmatisieren. Die Ausstellung, die zuletzt im Bayerischen Landtag gezeigt wurde, wird im kommenden Jahr auch am Münchner Max-Planck-Institut zu sehen sein.
www.faz.net/aktuell/wissen/geist-soziales/kann-man-psychische-erkrankungen-im-blick-erkennen-16456468.html

Körperbild in Virtual Reality

Anders als bisher angenommen wissen Patientinnen mit Magersucht, dass sie dünn sind. Sie haben aber andere Vorstellungen von einem erstrebenswerten Körper als gesunde Menschen. Das hat die Doktorarbeit von Simone Behrens in Tübingen ergeben, für die sie mit dem KlarText-Preis für Wissenschaftskommunikation der Klaus Tschira Stiftung ausgezeichnet wurde. Dieses sehenswerte Video porträtiert die junge Forscherin und ihre wissenschaftliche Vorgehensweise.
https://www.youtube.com/watch?v=3yY6D_HP1po

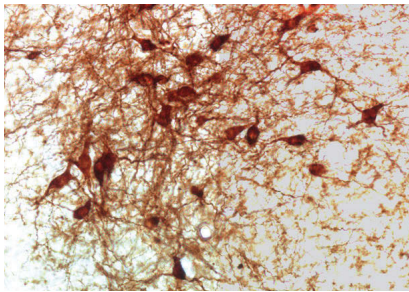
Lizenz für neue Wirkstoffe gegen Parkinson

Die Firma Modag entwickelt eine von Göttinger und Münchner Forschern entdeckte Substanz weiter

In den meisten Fällen tritt Parkinson zwischen 50 und 60 Jahren erstmals auf. Die Dopamin produzierenden Nervenzellen in der Substantia nigra, einer Struktur im Mittelhirn, gehen zugrunde. Unter dem Mikroskop werden auffal-

lende Ablagerungen verklumpter Alpha-Synuclein-Proteine im Gehirn sichtbar, die offenbar auf Nervenzellen äußerst giftig wirken. Bisher gibt es keine Medikamente, die gegen die Ursachen von Parkinson wirken. Genau hier hat die Arbeit der Forschungsteams um Armin Giese von der Ludwig-Maximilians-Universität München und Christian Griesinger vom Max-Planck-Institut für biophysikalische Chemie in Göttingen angesetzt. Die beiden haben bereits vor einigen Jahren einen Wirkstoff entdeckt, der in Tests an Mäusen das Fort-

schreiten der Proteinablagerungen und der Nervenzellschädigung wesentlich verzögert. Aber bis zur Anwendung am Menschen ist es ein weiter Weg. Das Unternehmen Modag hat die präklinische Entwicklung des Stoffs übernommen und im September 2019 mit einem Patent für neue chemisch modifizierte Wirkstoffkandidaten eine weitere exklusive Lizenz mit der Max-Planck-Gesellschaft vereinbart. Auf dieser Grundlage kann Modag nun die Entwicklung neuer Wirkstoffe gegen Parkinson vorantreiben.



Gestörtes System: Dopamin produzierende Nervenzellen im Gehirn einer kranken Maus.

Foto: Max-Planck-Institut für Neurobiologie / Aron & Klein

WORLD'S FASTEST 4MPX



Ultrahigh-speed cameras for intense research and development needs.

v2640 6,600 fps at 2048x1920 pixels
12,500 fps at 1920x1080 pixels

- Extreme image detail
- Highest sensitivity in its class
- Very low noise at 7e-
- High dynamic range at 64,1 dB
- 1 μ s exposure (142ns option)
- Multi-mode flexibility

HSVISION
the speedcam company
Phantom Exclusive Distribution in DACH

www.hsvision.de

High Speed Vision GmbH | Pforzheimer Strasse 128 A | 76275 Ettlingen Germany
phone: +49 (0)7243 94757-0 | fax: +49 (0)7243 94757-29 | email: info@hsvision.de

Demokratie braucht Wissenschaft

In Zeiten, da sich die gesellschaftlichen Gruppen immer mehr voneinander abkapseln, droht auch die Wissenschaft zu einer Meinungsblase unter vielen zu werden. Doch um die globalen Probleme zu lösen – allen voran den Klimawandel –, braucht es wissenschaftliche Expertise. Die Wissenschaft sollte deshalb das Gespräch mit Gesellschaft und Politik suchen, forderte der Bundespräsident auf einer Veranstaltung der deutschen Wissenschaftsorganisationen am 26. September 2019 in Berlin. Seine Rede können Sie hier im Wortlaut nachlesen.

REDE VON BUNDESPRÄSIDENT FRANK-WALTER STEINMEIER

Wie schön, heute bei Ihnen zu sein zum Abschluss dieser ebenso wichtigen wie vielfältigen Reihe zur Wissenschaftsfreiheit, mit der Sie den 70. Geburtstag unseres Grundgesetzes begleitet haben. (...) Es tut gut, zu sehen, wie klar und deutlich unsere Wissenschaft bei einem so wichtigen Thema – der Verfasstheit unserer Gesellschaft – mit einer Stimme sprechen kann. (...)

Sie rufen uns – pünktlich zum Verfassungsgeburtstag – deutlich und unmissverständlich zu, dass wir in sieben Jahrzehnten unter diesem Grundgesetz etwas geschafft haben, worauf wir stolz sein können, nämlich einen großen Konsens über die Freiheit der Wissenschaft in unserem Land. Ich füge hinzu: Zum Glück ist das so, allen Anfechtungen zum Trotz und weit über die Wissenschaftsgemeinde hinaus!

Diesen Konsens kann man in zwei Sätzen zusammenfassen, die wir wohl alle schon oft gehört haben. Erstens nämlich: Die Freiheit der Wissenschaft ist ein hohes Gut in unserer Demokratie, als Grundrecht verbrieft durch unsere Verfassung, und wir alle

sind gehalten, sie zu pflegen, zu schützen und nötigenfalls auch zu verteidigen. Und zweitens: Zur Freiheit der Wissenschaft gehört in der liberalen Demokratie geradezu spiegelbildlich auch eine Erwartung,

.....
**Wir sehen Angriffe auf die
freie Wissenschaft – weltweit
und sehr konkret**

nämlich die Erwartung an die Verantwortung der Wissenschaft für die Welt, die sie erforscht, für die Gesellschaft, in der sie forscht, für Mensch und Natur ganz allgemein.

Ich glaube, jede und jeder von Ihnen wird mir zustimmen, wenn ich sage: Die wissenschaftliche Freiheit, die wir schützen müssen, und die Verantwortung, die aus dieser Freiheit erwächst, sie beide gehören untrennbar zusammen. So, meine Damen und Her-



„Erhellen Sie unsere Demokratie“: Bundespräsident Steinmeier ermutigt die Wissenschaft, sich konstruktiv in die politische Diskussion einzumischen.

ren, wär's das dann auch schon? (...) Wissenschaftsfreiheit bestätigt, einen Schritt näher am Buffet.

Nein, die Einigkeit in diesem Raum ist wohl kaum repräsentativ für den Zustand der Welt. Wir sehen Angriffe auf die freie Wissenschaft – weltweit und sehr konkret. Dazu brauchen wir nicht einmal in andere Weltteile zu schauen, in die starken oder neu erstarkenden autokratischen Systeme etwa, wo Freiheit nur wenig gilt, in Länder, in denen die Wissenschaft Autorität und Ideologie zu dienen hat.

Dazu müssen wir auch nicht erst über den Atlantik blicken, wo jahrzehntelang erarbeitete wissenschaftliche Erkenntnisse mit einem kantigen Tweet beiseite gewischt werden – und schlimmstenfalls die öffentliche Unterscheidbarkeit zwischen dem einen und dem anderen gleich mit. Nein, dazu müssen wir

Ich wünsche mir Universitäten als Orte, an denen Demokratie eingeübt wird

nur auf Europa schauen, wo eine ganze Universität außer Landes getrieben wird, wo sich manche Wortführer schon eine Welt ohne vermeintlich lästige Experten wünschen, ohne kritische Geister und mit einer Wissenschaft, die sich ganz der politischen Linie untertan macht.

All das muss uns besorgen. Und mehr als das: Wir müssen unsere Stimme erheben, wo Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler unter Druck stehen, und wir müssen helfen, wo wir es können – zum Beispiel auch dann, wenn Forscherinnen und Forscher aus diesen Ländern Zuflucht bei uns suchen. Der Zustrom von bedrohten Wissenschaftlern zeigt: Dieses Deutschland – mit seiner wahrhaft schwierigen Geschichte – ist heute vielen ein Hafen der Vernunft geworden, ein Partner für jene, die weltweit die Freiheit des Geistes und die Freiheit des Wortes einfordern. Lassen Sie uns diesen Anspruch bitte bewahren! Ja, die Wissenschaftsfreiheit gilt etwas in diesem Land. Aber ein Grund zum Ausruhen ist das nicht! Gerade in dieser Weltlage, gerade weil wir tagtäglich sehen oder hören können, wie Wissenschaftsfreiheit

angefochten wird, sollten wir uns doch selbst fragen, wie wir dieses uns so teure Grundrecht für die Zukunft absichern können.

Ich will auf drei Bereiche besonders eingehen. Erstens hat wissenschaftliche Freiheit immer auch eine materielle Komponente. Sie, die Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler unseres Landes, haben Anspruch auf ein starkes finanzielles Fundament. Spitzenforschung auf internationalem Niveau, wie wir alle sie uns wünschen, genauso aber geistige Unabhängigkeit und Kreativität, all das bedarf einer angemessenen Ausstattung.

Unser Land muss sich in dieser Hinsicht sicherlich nicht verstecken, gerade nach den steigenden Investitionen in den letzten anderthalb Jahrzehnten. Aber diesen Anspruch zu erhalten, wird in den kommenden Jahren zumindest nicht einfacher. Dazu gehört, dass Universitäten und Forschungseinrichtungen sich der Bedingungen ihrer Unabhängigkeit bewusst bleiben und sie in jede Richtung verteidigen – das gilt in Richtung Politik, aber das gilt auch im Bereich der Drittmittel, etwa aus der Wirtschaft. In meinen Augen steht aber eines fest: Für die materiellen Grundlagen der Wissenschaft trägt zuallererst der Staat die Verantwortung – und es schadet nicht, wenn Sie ihn immer mal wieder daran erinnern.

Zweitens muss wissenschaftliche Freiheit nicht nur an der Spitze gelten, sondern auch für den Nachwuchs. Ich wünsche mir Universitäten als Orte, an denen Demokratie eingeübt wird. Und damit die Uni ein Ort der Demokratie sein kann, muss sie zuallererst ein Ort der Freiheit sein. Manche beklagen, dass das Studium heute dem Einzelnen zu wenig Raum gibt zur Sinnsuche und zur Verortung in der Gesellschaft. Ich halte das für etwas übertrieben. Aber bei aller Strukturierung und Leistungssteigerung durch Bologna, mit Bachelor und Master, Modulen und Betonung ist doch eines wichtig: Die Freiheit der Studierenden, von der Wahl des Studienwegs bis hin zur intellektuellen Entfaltung über die Grenzen des eigenen Fachs und des eigenen Landes hinweg, diese Freiheit gehört in den Kern akademischer Bildung, und dort sollte sie bleiben.

Und später, bei den Doktoranden und Assistenten, ist es natürlich auch die Freiheit zur Entwicklung eigener Forschungsschwerpunkte, unbeschwert von überkommenen Abhängigkeiten und überschie-



ßender Einflussnahme durch die Altvorderen. Denn die Wissenschaftsfreiheit, zu der wir uns heute miteinander bekennen, die beginnt ja nicht erst mit der W-Besoldung, sondern die brauchen ganz gewiss auch Wissenschaftliche Mitarbeiter, Doktorandinnen und Postdocs.

Drittens schließlich, und das ist der wichtigste Punkt, müssen wir die Freiheit der Forschung in der Gesellschaft absichern. In meinen Augen gelingt das nur, indem wir Vertrauen in ihre Verfahren und Vorgehensweisen stiften und, wo nötig, erneuern. Das berüchtigte „postfaktische Zeitalter“ ist ja nicht nur in anderen Weltteilen ausgebrochen. Auch in Deutschland sagen bereits 43 Prozent der Befragten, dass Fakten Ansichtssache seien. Dieser Befund kann und muss uns beunruhigen. Wir müssen seine Gründe verstehen, ja – aber mehr noch: Wir müssen damit umgehen!

Ich glaube: Wo das Vertrauen in wissenschaftliche Erkenntnisse selbst fehlt, da ist das Vertrauen in den Prozess, in dem diese Erkenntnisse entstehen, umso wichtiger. Der Prozess muss glaubwürdig sein – indem er sich nicht in den Dienst vordergründiger Interessen stellt. Indem er auf nachvollziehbare Argumente setzt, auf überprüfbare Fakten, auf transparente Methodik. Und indem er ehrlich unterscheidet zwischen gesicherten Erkenntnissen und Hypothesen, die auch in der Wissenschaft selbst noch umstritten sind.

Die Wissenschaft darf – unter dem Druck einer polarisierten Öffentlichkeit – nicht zu einer Meinungsblase unter vielen verkommen. Deshalb will ich alle Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler ermutigen: Beteiligen Sie sich auch weiterhin am wissenschaftlichen Prozess mit dem Ehrgeiz und dem Anspruch, an der „Produktion von Wahrheit“ mitzuwirken. Denn gesellschaftlicher Fortschritt braucht die Grundlage Ihrer Erkenntnisse. Die großen Zukunftsthemen brauchen nicht nur den emotionalen, sondern auch den gut informierten Streit! Ja, für das Vertrauen in Wissenschaft muss Politik eintreten und werben – aber für dieses Vertrauen muss auch die Wissenschaft selbst immer wieder sorgen. Denn ohne Vertrauen in die Forschung wird die Gesellschaft blind für die Chancen der Zukunft und die Wissenschaft zum leichten Ziel für Feinde der Freiheit!

Vor einigen Monaten war ich in Island, einem kleinen Land am äußersten Rand Europas, das die Auswirkungen des menschengemachten Klimawandels existenziell zu spüren bekommt. Sie können sich denken, was es für ein Land, das das „Eis“ sogar im Namen trägt, bedeutet, wenn erste Gletscher – schon

Unverständnis sollte nicht der Modus zwischen Wissenschaft und Politik sein

heute – aufhören zu existieren. Wie oft bei solchen Reisen hatte ich auch Gäste aus Deutschland eingeladen, unser Land zu vertreten. Darunter sind immer wieder auch Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler – auch so mancher und manche in dieser Saal –, und ich bin froh darüber.

Nun saßen wir auf jener Islandreise und diskutierten mit Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftlern über den Klimawandel, und eines war klar: Die Echtheit der Fakten hat hier niemand infrage gestellt. Die Daten und deren Interpretation waren nicht das Thema.

Thema war vielmehr, warum „die Politik“ nicht handelt, wieso „die Politik“ ihrer Verantwortung nicht gerecht wird, weshalb „die Politik“ – die der Wissenschaft doch nur endlich zuhören müsse! – die notwendigen Maßnahmen schleifen lässt. Damit bin ich bei einem weiteren Thema, das mich in diesen Tagen ganz besonders bewegt und über das wir sprechen müssen, wenn es um Wissenschaftsfreiheit und -verantwortung geht: das Verhältnis von „der Wissenschaft“ und „der Politik“ nämlich.

Gerade beim Großthema unserer Zeit, beim Klimaschutz, sehe und höre ich viel Unverständnis, viel Enttäuschung, viel Verdruss, wenn aus der Wissenschaft auf „die Politik“ geschaut wird. Ich sehe und höre, wie „der Politik“ – nicht nur auf Präsidentenreisen, sondern auf den Marktplätzen des ganzen Landes – unter Verweis auf wissenschaftliche Fakten blankes Verzögern und Versagen vorgeworfen wird. Lassen Sie mich eines vorneweg sagen: Als Bundespräsident kann es mir nicht darum ge-



hen, der einen oder der anderen Seite beizuspringen. Als Bundespräsident geht es mir darum, wie sie zueinanderfinden.

Gewiss: Ungeduld ist berechtigt. Und auch Kritik ist berechtigt. Natürlich liegt das Heft des Handelns zuallererst bei der Politik. Ebenfalls richtig ist, dass Deutschland, das einmal Vorreiter bei Klimaschutz und bei der Entwicklung der erneuerbaren Energien war, Gefahr läuft, diese Position, sogar diesen Ehrgeiz

Wir sollten Demokratie als Raum zum gemeinsamen Knotenlösen verstehen

zu verlieren. Wir haben uns, und zwar schon vor Jahren, ehrgeizige Ziele gesetzt – jetzt zählt der politische Wille, die gesteckten Ziele auch wirklich zu erreichen! Daran muss Klimapolitik sich messen lassen, und dafür muss sie mutig und entschieden handeln.

All das ist richtig. Die Dringlichkeit des Handelns kann keiner mehr leugnen. Aber allein damit ist es eben nicht getan. Carl Friedrich von Weizsäcker hat die Maxime geprägt, es sei „die erste Verantwortung des Wissenschaftlers, die Verflechtung von Erkenntnis und Weltveränderung zu erkennen“. Ja, Erkenntnis und Weltveränderung sind eng verflochten – aber sie sind eben nicht ein und dasselbe! „Schade eigentlich“, mag der eine oder andere von Ihnen denken, und der alte Platon würde Ihnen vermutlich zustimmen. Wir bräuchten Philosophenkönige – stattdessen haben wir Unterausschüsse, Gipfeltreffen und Klimakabinette.

Als Bundespräsident stehe ich hier nicht, um Politik zu rechtfertigen – erst recht nicht einzelne Entscheidungen, die die Koalition zum Klimaschutz getroffen hat. Aber ich will daran erinnern: Demokratie funktioniert nicht wie Wissenschaft. In der Demokratie zählen nicht allein der messerscharfe Verstand, Bestenauslese, Peer Review und Impact Factor. Die Politik in der Demokratie folgt eigenen Regeln. Sie sollte nicht schon deshalb – auch nicht von der Wissenschaft – als prinzipiell entscheidungsunfähig oder gar störend abgetan werden.

Wissenschaft ist ihrem Wesen nach zuallererst erkenntnisorientiert – Politik ihrem Wesen nach handlungsorientiert. Das bedeutet: Demokratie braucht Wissenschaft – unbedingt sogar! –, aber Demokratie braucht auch vieles andere mehr: das Abwägen von Sichtweisen und Prioritäten, den Ausgleich von Interessen, das Werben um Mehrheiten, das Ringen um Kompromisse, die Verantwortung für Menschen und Familien, die Sorge um die, die auf der Straße des Fortschritts zurückbleiben. Politik – Klimapolitik ganz besonders – ist umso wirksamer, je mehr Menschen die Chance haben, mitzutun und mitzuziehen.

In der Diskussion auf der Islandreise hatte ich aber den Eindruck, dass wir geradezu in unterschiedlichen Sprachen aneinander vorbeigeredet haben. Dass wir zunehmend in die Falle liefen, „die Wissenschaft“ und „die Politik“ als zwei umeinander kreisende Planeten zu betrachten, die sich abgehackte Funksprüche im Kommandoton zumorsen und sich dann rituell übereinander ärgern, wenn die Gegenseite nicht sofort „Roger“ zurückfunkelt. Mein wichtigstes Anliegen heute ist dies: Unverständnis und Sprachlosigkeit dürfen nicht zum Modus zwischen Wissenschaft und Politik werden!

Und das fordert beide Seiten! Politik, auf der einen Seite, darf eben nicht den einfachen Weg gehen, den Weg des kleinsten gemeinsamen Nenners, des geringsten Widerstandes. Politik soll treiben – und nicht Getriebene sein, wie es beim Klimawandel allzu oft den Anschein hat. Politik muss den Mut haben, auch den großen Schritt zu wagen. Politik kann die Spielräume nutzen, die gerade zurzeit von der Zivilgesellschaft eröffnet werden. Und gerade bei einem so hochkomplexen Thema wie dem Klimawandel gilt: Politik braucht Sachverstand und Evidenz. Politik sollte wieder häufiger den Weg in Seminarräume und Labore suchen. Politik muss sich immer wieder zumuten, den Rat von Experten einzuholen, sie muss auf wissenschaftliche Expertise setzen – und diese Expertise auch gegen die notorischen Vereinfacher, Stimmungsmacher und Populisten verteidigen.

Aber mein Appell gilt auch umgekehrt. Auch die Wissenschaft, gerade weil sie besondere Freiheiten und Privilegien genießt, trägt eine besondere Verantwortung für das Gelingen von Demokratie. Das heißt zuallererst, dass sie sich selbst und der Öffentlichkeit gegenüber ehrlich und transparent bleibt in

der Weber'schen Unterscheidung von Sach- und Werturteil. Und das heißt im Weiteren: Wenn Wissenschaft normativ urteilt, wenn sie notwendige Veränderungen erkennt, dann muss sie bereit und in der Lage sein, in Politik und Gesellschaft hineinzugehen und zu erklären, zu werben, zu vermitteln. Sie muss bereit sein, Teil der demokratischen Debatte zu sein, und nicht die eigene, singuläre Erkenntnis so absolut setzen, dass die Vielstimmigkeit und Komplexität der Demokratie am Ende nicht mehr als Weg zur Lösung, sondern als Hindernis erscheint. Kurzum, unser Weg darf nicht heißen: Wissenschaft gegen Politik.

Wir haben es beim Klimawandel gewiss mit dem sprichwörtlichen Gordischen Knoten zu tun. Und den schlägt bekanntlich kein Akteur – und kein Gesetzespaket – alleine durch. Wenn wir aber – im Frust über diesen Zustand – anfangen, jeder für sich und gegeneinander am Knoten zu zerren, so zieht er sich nur fester zu. Mein Wunsch ist dieser: Bleiben wir beieinander, und fordern wir von der Demokratie auch weiterhin nicht mehr, aber auch nicht weniger als das, was sie ist: der Raum zum gemeinsamen Knotenlösen!

Alles andere ist Apokalypse. Und – ich weiß nicht, wie Sie das sehen – Apokalypse lähmt. Sie ermutigt nicht. Sie macht Angst, wo wir Mut zur Veränderung brauchen. Sie lässt den Zweifel größer aussehen und jedes Engagement vergeblicher.

Das ist meine Bitte an die Wissenschaft: Bleiben Sie beharrlich! Erklären Sie, was zu erklären ist – wenn nötig, mehr als einmal! Zeigen Sie die Perspektive! Machen Sie Mut! Erhellern Sie unsere Demokratie! ◀

Diese Rede hat Bundespräsident Steinmeier am 26. September 2019 im Futurium Berlin gehalten. Anlass war die Abschlussveranstaltung der Kampagne „Freiheit ist unser System“, die im Jahr 2019 von der Allianz der Wissenschaftsorganisationen initiiert wurde.



Frank-Walter Steinmeier (Jahrgang 1956) ist seit 2017 Bundespräsident der Bundesrepublik Deutschland. Der promovierte Jurist beginnt seine politische Laufbahn 1991 in der Niedersächsischen Staatskanzlei. 1998 wird er beim damaligen Kanzler Gerhard Schröder Staatssekretär im Bundeskanzleramt, ein Jahr später übernimmt er die Leitung des Amtes. 2005 holt Angela Merkel ihn als Außenminister ins Bundeskabinett, 2007 wird er zudem Vizekanzler. In der Zeit der schwarz-gelben Koalition in Berlin sitzt Steinmeier als SPD-Abgeordneter im Bundestag. Vier Jahre später übernimmt er erneut das Auswärtige Amt und leitet es bis Januar 2017.



Im Kanu die Geschichte erfahren

Max-Planck-Forschende kooperieren mit Partnern in rund 120 Ländern der Erde. Hier schreiben sie über persönliche Erlebnisse und Eindrücke. Thomas Turnbull vom Max-Planck-Institut für Wissenschaftsgeschichte in Berlin ist in das Projekt „Mississippi. An Anthropocene River“ involviert. Als Teil dieses Projektes ist Turnbull eine Strecke des Mississippi hinuntergepaddelt. Er erzählt von einem Fluss, der sinnbildlich für die menschengemachte Veränderung natürlicher Systeme steht.

Als Historiker begeben sich normalerweise nur in Archive und nicht auf Kanutour. Eine Recherche mit der hautnahen Erfahrung eines Flusses zu verbinden, war daher wirklich ein kleines Abenteuer. Das Mississippi-Projekt ging der Frage nach, ob sich ein von Menschen dominiertes Erdzeitalter, das Anthropozän, anhand dieses Flusses veranschaulichen lässt.

Die insgesamt dreimonatige Flussreise von Minnesota bis zum Golf von Mexiko war ein elementarer Bestandteil dieses Projekts. Ich selbst bin für eine Woche von Cairo, Illinois, bis New Madrid, Missouri, mitgefahren, zusammen mit weiteren Forschenden, Kunstschaffenden und auch Studierenden der Augsburg University in Minneapolis, die ihr Herbstsemester auf und am Fluss verbrachten.

Die Eindrücke, die ich auf der Kanutour gesammelt habe, sind ein wichtiger Teil meiner Forschung, in der ich die Historie der technischen Veränderungen im Mississippi Valley untersuche. Durch diesen Trip habe ich die positiven und negativen Konsequenzen vergangener technischer Eingriffe in den Flussverlauf hautnah miterleben können, etwa das Damm- und Deichsystem.

Die Stausysteme und Erdwälle wurden in den 1930er-Jahren gebaut, um den Mississippi komplett schiffbar zu machen und in seinem Flussbett zu halten. Das dämmte Fluten ein und ermöglichte die Funktion des Flusses als kontinuierlicher Transportweg für landwirtschaftliche Massengüter. Allerdings wissen wir heute, dass dieser Umbau wiederum selbst das Flusssystem entscheidend destabilisiert und neue Risiken für Überflutungen geschaffen hat.



Dr. Thomas Turnbull, 33, studierte Geschichte am King's College in London. Er arbeitete unter anderem für einen Umwelt-Thinktank und in einem Projekt zum Erhalt gefährdeter Sprachen. Im Anschluss studierte er an der School of Geography and Environment, University of Oxford. 2017 promovierte Turnbull zum Thema „Energiekonservierung in Großbritannien und den USA zwischen 1865 und 1981“. Von 2018 bis 2020 ist er Gastwissenschaftler am Max-Planck-Institut für Wissenschaftsgeschichte. Mit dem Mississippi-Projekt und weiteren Vorhaben verfolgt er sein Forschungsinteresse, das sich zwischen Wissenschafts- und Geografiegeschichte einordnen lässt.

Mein Startpunkt war Cairo – eine kleine Stadt, die sehr von der Deindustrialisierung der vergangenen Jahrzehnte gezeichnet ist. Dennoch gleicht der Fluss noch immer einer Industriestraße. Schlepper transportieren Tag und Nacht Waren, von Mais und Soja bis zu Ersatzteilen für Ölraffinerien. Trotz ihrer gemächlichen Fahrt erzeugten die Schlepper mächtige Wellen und übertönten mit ihrem Rattern das Rascheln der umstehenden Bäume. Hinter dieser Wand aus Hickorybäumen und Zypressen am Ufer ernteten Landmaschinen Unmengen von Soja, dessen hopfiger Geruch hin und wieder herüberwehte. Aber Menschen waren so gut wie nie zu sehen. Das war beinahe surreal.

Tag für Tag paddelten wir auf dem langsam dahinfließenden Mississippi – einem ewigen Fließband aus Wasser und Sedimenten. Es war wirklich stiller und wilder, als ich erwartet hatte. Wir campten auf Sandbänken und kleinen Inseln im Flusslauf. Die Nächte waren pechschwarz und wurden nur von den Sternen, unserer Lagerfeuer und den Scheinwerfern der Schlepper unterbrochen. Die Crews wunderten sich bestimmt darüber, dass Menschen auf diesen schmalen Sandbänken übernachteten – und sogar manchmal zu Gitarrenmusik sangen.

Auf der Tour fand einer unserer Reiseführer einen Baumstamm voller Austernpilze. Wir beobachteten Asiatische Karpfen, die aus dem bräunlichen Wasser sprangen, und Vögel, die in den Bäumen zwitscherten. Die oftmals einzige Spur von Menschen war der Zivilisationsmüll, der am Ufer und an den Sandbänken angespült worden war. Wir fanden sogar ein *Star Wars*-Raumschiff aus Plastik, das halb im Schlamm steckte.

Die Erlebnisse auf der Kanutour erlauben mir nun, viel konkreter über die Umweltgeschichte des Mississippi Valley und dessen Rolle im Anthropozän nachzudenken – darüber, wie Flutkontrolle, industrielle Landwirtschaft, Düngemitteltransport und Energiegewinnung miteinander zusammenhängen.



Kuck mal, wer da spricht: Im Alter von etwa einem Jahr können die meisten Kinder erste Wörter sagen, Dreijährige können bereits Gespräche führen. Damit sind sie weit besser als jedes Tier oder auch als die künstliche Intelligenz.

Raus mit der Sprache

Dass Kinder irgendwann zu sprechen beginnen, scheint uns selbstverständlich. Doch das Erlernen der Sprache ist eine geistige Höchstleistung, die bis heute noch nicht komplett verstanden ist. Mithilfe verschiedenster Methoden ergründen die Abteilungen von **Caroline Rowland** am **Max-Planck-Institut für Psycholinguistik** in Nijmegen und von **Angela Friederici** am **Max-Planck-Institut für Kognitions- und Neurowissenschaften** in Leipzig, wie Kinder sich scheinbar mühelos dieses komplexe Kommunikationssystem aneignen.

TEXT **TIM SCHRÖDER**

Der Weg zu den Laboren von Caroline Rowland führt durch einen kleinen Park. Wer ihn entlangspaziert, merkt gleich, dass hier etwas besonders ist: Eine babyblaue Elfe aus Porzellan sitzt am Wegesrand im Gras, ein paar Schritte weiter eine rosa-rote Fee, etwa so groß wie eine Barbiepuppe, dann noch eine und noch eine, bis zu einem Seiteneingang.

Und auch drinnen sieht dieser Teil des Max-Planck-Instituts für Psycholinguistik anders aus als das übrige Gebäude mit seinen Büros und Laboren. Im Flur stehen quietschbunte Hocker in Pilzform, gerade so groß, dass sich Kinder bequem draufsetzen können. „Und hier ist unser Wartezimmer“, sagt Caroline Rowland und schließt eine Tür auf: ein kleines Spielparadies mit Kuscheltieren, Bilderbüchern, Kartons voller Gesellschafts- und Geschicklichkeitsspiele und Stühlchen. Caroline Rowland und ihre Mitarbeiter haben alles so eingerichtet, dass Kinder sich hier auf Anhieb

wohlfühlen, denn Kinder sind die eigentlichen Stars in Rowlands Forschung.

Caroline Rowland ist Professorin für Psychologie und Direktorin am Max-Planck-Institut für Psycholinguistik im niederländischen Nijmegen. Sie will ergründen, wie Kinder ihre Muttersprache lernen – noch bevor sie viele andere Fähigkeiten auch nur in Ansätzen beherrschen: „Die meisten Kinder lernen in den ersten Lebensjahren mühelos das komplexeste Kommunikationssystem des bekannten Universums. Ich möchte herausfinden, wie sie das machen und warum das so ist.“ Und dafür lädt sie regelmäßig Eltern mit deren Kindern zu spielerischen Experimenten ein. Für sie ist vor allem die Arbeit mit Babys und Kleinkindern interessant, die gerade beginnen, ihre Muttersprache zu erlernen.

Neben dem bunten Wartezimmer liegt einer der Laborräume, in denen Caroline Rowland und ihr Team mit den Kindern die Sprachexperimente machen. Der Kontrast könnte nicht

größer sein: Der Raum ist nüchtern, die Wände sind schmucklos. Nichts soll die Kinder ablenken. Mitten im Zimmer steht ein großer Monitor, davor ein Tisch mit zwei Stühlen. Hier nehmen die Eltern mit ihren Kindern Platz. Auf dem Monitor spielen die Forscher dann Szenen oder Bilder ab: ein Hund, der eine Katze jagt, Gegenstände wie zum Beispiel Bälle oder Gummientchen – Dinge, die den Kindern aus ihrem Alltag bekannt sind. Zusammen mit Julia Egger, Christina Bergmann und Andrew Jessop aus ihrem Team beobachtet Rowland zum Beispiel, worauf die Kinder ihre Aufmerksamkeit lenken. Dabei nutzt sie Eyetracker, das sind Infrarotkameras, die die Bewegungen der Pupille und der Iris verfolgen und damit registrieren können, wann ein Kind wohin schaut.

Mithilfe dieser Technik hat Caroline Rowland gemeinsam mit Mitarbeitern und britischen Universitätskolleginnen die Geschwindigkeit gemessen, mit der ein Kind Sprache verarbeitet. „Looking-



while-listening“-Paradigma heißt der Ansatz, „Schauen beim Zuhören“. Ein Kind sitzt vor einem Bildschirm und sieht Bildpaare, von denen aber jeweils nur eines angesprochen wird. Wenn auf dem Bildschirm zum Beispiel ein Apfel und ein Auto zu sehen sind, kommt gleichzeitig die Aufforderung, auf den Apfel zu schauen. Mit dem Eyetracker können die Wissenschaftler messen, wie schnell das Kind die Augen auf den Apfel richtet. Die Geschwindigkeit, mit der Kinder das richtige Wort identifizieren, zeigt, wie schnell sie die Sprache, die sie hören, verarbeiten.

DIE HERAUSFORDERUNG IST, GEHÖRTES ZU VERSTEHEN

Die Studie zielt auf eines der großen Rätsel der Sprachentwicklung: Warum sprechen manche Kinder bereits mit acht Monaten die ersten Wörter, während andere erst mit zwei oder drei Jahren zu reden anfangen? Und ganz praktisch: Woran erkennt man frühzeitig, ob ein Kind sich nur etwas verzögert

entwickelt oder ob es eine Spracherwerbsstörung hat, die therapiert werden sollte? Wie die Studie ergab, ist die Geschwindigkeit, in der 18 Monate alte Kleinkinder Sprache verarbeiten, tatsächlich ein wesentlicher Faktor für die Sprachentwicklung.

Die Schnellen unter ihnen sind deutlich im Vorteil: Sie können aus jedem Satz, den sie hören, mehr lernen, ihr Wortschatz und sogar ihr Wissen über den Satzbau wachsen schneller als bei den langsameren Kindern. Und je größer der Wortschatz, desto schneller können Kinder wiederum Gehörtes verarbeiten. Die langsameren Kinder haben dadurch einen Nachteil. Diesem Phänomen möchte das Projektteam in seiner künftigen Forschung genauer auf den Grund gehen – auch um Möglichkeiten zu finden, den benachteiligten Kindern zu helfen.

Das Verarbeiten von gehörter Sprache ist für Caroline Rowland ein zentraler Aspekt beim Sprechenlernen. Denn was Neugeborene und Kleinkinder zunächst wahrnehmen, ist ein nicht en-

den wollender Fluss an Einzellauten und Silben. Erwachsene kennen das vom Erlernen einer Fremdsprache – oft ist der Wortfluss kaum zu verstehen, nur gelegentlich lassen sich einzelne bekannte Begriffe erkennen, und man kann versuchen, sich daraus den Sinn zusammenzureimen. „In der Regel machen wir beim Sprechen eines Satzes zwischen einzelnen Wörtern keine Pausen“, sagt die Wissenschaftlerin. „Für Kleinkinder, die die Sprache neu lernen müssen, besteht also die Herausforderung darin, in diesem Fluss aus Silben Begriffe zu erkennen.“ Und nicht nur das, sie müssen auch Wortarten unterscheiden und die Grammatik durchschauen.

Eine zentrale Frage ist also, wie Kinder den sprachlichen Input verarbeiten. Dabei muss die Forschung berücksichtigen, dass in der gesprochenen Sprache die Wörter nicht wie auf einem Fließband gleichmäßig in die Welt kommen. Wenn wir reden, verwenden wir unterschiedliche Betonungen, setzen Pausen, sprechen in einer bestimmten Sprachmelodie. Wir unterstreichen das Gesag-



Links Spielerische Forschung: In kindgerechten Experimenten untersuchen die Wissenschaftlerinnen in Nijmegen, welche sprachlichen Fähigkeiten Kinder sich bereits angeeignet haben.

Unten Caroline Rowland ist Direktorin der Abteilung „Sprachentwicklung“ am Max-Planck-Institut für Psycholinguistik.

te mit Gesten und Blicken, und natürlich beziehen wir uns auf Dinge und Menschen in der Umgebung. Nach Ansicht von Caroline Rowland hat die Forschung das bisher zu wenig beachtet. Sie sieht darin eine komplexe Herausforderung für ihr Feld.

KINDER MACHEN BEIM SPRECHEN SCHLAUE FEHLER

Sie selbst geht die Herausforderung multimethodisch an. Das heißt, sie verwendet eine ganze Palette verschiedener Ansätze: neurowissenschaftliche Methoden, Computermodelle, Verhaltensexperimente und detaillierte Untersuchungen alltäglicher Unterhaltungen.

Für die Gesprächsanalyse nutzen Caroline Rowland und ihr Team große Online-Datenbanken wie CHILDES, in denen Dialoge von und mit Kindern als schriftliche Dokumente, Audio- oder Videodateien gesammelt werden. „Aus den dort gespeicherten Gesprächen, aus den Fragen und den Antworten der Kinder kann man sehr viele Schlüsse

ziehen“, sagt Caroline Rowland. Aufschlussreich sind beispielsweise typische Fehler, die Kinder beim Sprechen machen. Denn sie zeigen, welche wiederkehrenden Muster die Kinder in der Sprache bereits erkannt haben. Jüngere Kinder machen oft Fehler bei der Mehrzahlbildung, etwa „die Frosche springen“. Dann haben sie durchschaut, dass man für den Plural ein „e“ anhängen kann, sie haben aber noch nicht gelernt, dass es weitere Regeln gibt, in diesem Fall, das „o“ zum „ö“ umzubilden.

Bei älteren Kindern ändern sich mit den wachsenden sprachlichen Fähigkeiten auch die Fehler. Wenn ein Vorschulkind einen Satz sagt wie: „Spring den Ball da vorne“, dann spielt sich dabei Folgendes ab: Das Kind hat bereits Wörter wie „werfen“ oder „stoßen“ gelernt, die ausdrücken, wie man Dinge in Bewegung setzt („den Ball werfen“). Warum also nicht das Wort „springen“ verwenden? Das Beispiel verdeutlicht den Kern der Sache: Es handelt sich nicht um einen Fehler, bei dem das Kind Wörter oder Wortteile widersinnig





Buntes Team: In der Abteilung „Sprachentwicklung“ arbeiten Forscherinnen und Forscher aus den Bereichen Entwicklungs- und Kognitionspsychologie, Neurowissenschaften, Linguistik und Logopädie sowie Spezialisten für Computermanalyse und -simulation eng zusammen.

verwendet. Im Gegenteil, das Kind wendet ein Muster an, das es bereits häufig gehört hat und das es nun kreativ einsetzt, um etwas Neues auszudrücken – was in diesem Fall jedoch nicht ganz richtig ist. Rowland spricht von „schlauem Fehlern“, die sich interessanterweise bei allen Kindern mit normaler Sprachentwicklung ähneln, und das über verschiedene Sprachen hinweg.

SCHON KLEINKINDER FINDEN MUSTER IN DER SPRACHE

Übrigens empfiehlt die Sprachentwicklungsforschung in solchen Fällen, Kinder nicht explizit auf ihre Fehler hinzuweisen. Kinder machen sich nicht bewusst, welche sprachlichen Gesetzmäßigkeiten sie anwenden. Statt Regeln zu predigen, sollten Erwachsene besser den Satz des Kindes aufgreifen, ihn korrekt formulieren („Jetzt lassen wir den Ball ganz hoch springen“) und sich dann normal mit dem Kind weiterunterhalten. Mit der Zeit lernen die Kinder, auch die „schlauem Fehler“ nicht mehr zu machen.

Eine Erklärung, wie schon sehr kleine Kinder sich sprachliche Muster aneignen können, ist das sogenannte statistische Lernen. Es beschreibt die Fähigkeit des Gehirns, in einer komplexen Umgebung Gesetzmäßigkeiten zu erkennen, zu beobachten und daraus zu lernen. Wie das funktioniert, macht ein Satz wie „Schau, da schwimmt die Ente“ deutlich. In der Regel taucht in der Alltagssprache die Folge der Silben „en“ und „te“ häufiger auf als die Kombination der Silbe „die“ und der Silbe „en“. Ein Kind lernt also innerhalb kurzer Zeit, dass es zwischen „en“ und „te“ einen Zusammenhang gibt – die „Ente“.

Das zeigen Experimente, bei denen Kinder eine künstliche Sprache hören. Die Forscher integrieren bestimmte regelmäßige Elemente in diese Sprache. Im fließend gesprochenen Fantasiensatz „dalobitaganodalobilimidenatidalobi“ zum Beispiel kommt die Sequenz „dalobi“ häufiger vor. Es stellt sich heraus, dass Kinder das sehr schnell lernen und diese Erkenntnis nutzen, um den Begriff „dalobi“ später zu erkennen, wenn er einzeln vorgetragen wird.

„Mit mehreren Kameras im Raum filmen wir die Gesichter der Kinder, um zu untersuchen, wie sie auf vertraute und unbekannte Lautfolgen reagieren“, erklärt Caroline Rowland. „Wenn die Kinder einen ihnen vertrauten Begriff wie ‚dalobi‘ hören, steigt ihre Aufmerksamkeit deutlich, sie schauen zum Beispiel nach oben.“

COMPUTER HELFEN, GESPRÄCHE ZU ANALYSIEREN

Was banal klingen mag, ist eigentlich etwas Großartiges, betont Rowland. „Menschliche Säuglinge erfassen solche komplexen statistischen Zusammenhänge mit ihrem Gehirn schon im Alter von wenigen Monaten – und zwar viel besser als jedes Tier. Babys können in wenigen Minuten aus gesprochenen Sätzen komplexe statistische Muster extrahieren. Wir können das Gleiche mit Affen trainieren, aber es braucht Hunderte Versuche, ehe ihnen das gelingt.“ Wenn wir verstehen wollen, warum Menschen die Fähigkeit besitzen, ein so komplexes Kommunikationssystem wie die Sprache zu entwickeln, ist es nach Ansicht der Wissenschaftlerin essenziell zu erforschen, wie und warum Säuglinge das statistische Lernen so gut beherrschen.

In Rowlands Abteilung untersuchen Rebecca Frost, Katja Stärk und Evan Kidd, wie Säuglinge in der Sprache wiederkehrende Muster nutzen, um ein besseres Verständnis für Wörter und Grammatik zu entwickeln. In ihrer Forschung stützen sie sich nicht nur auf die Analyse von Gesprächen, sondern auch auf verhaltens- und neurophysiologische Studien sowie Eyetracking und Elektroenzephalografie, das EEG. Dazu werden den Babys und den Kindern Hauben mit Elektroden aufgesetzt, die die schwache elektrische Aktivität des Gehirns erfassen. So versuchen die Forscher zu ergründen, wie gut Säuglinge das statistische Sprachenlernen nutzen oder beherrschen.

Solche Studien zeigen, dass sich sehr früh ein Bewusstsein für Sprache entwickelt, lange bevor die Kinder anfangen zu sprechen. Evan Kidd veröffentlichte etwa kürzlich eine Unter-

suchung, wonach die Gehirnströme einzelner Kinder sehr unterschiedlich reagieren, wenn sie Sprache hören. Diese Unterschiede sind entscheidend für die weitere Sprachentwicklung: Kinder, die früher als andere beginnen, Wortwissen anzusammeln und zu benutzen, statt auf einzelne Laute zu fokussieren, haben später einen Vorteil beim Lernen neuer Wörter.

Ein weiterer Ansatz, die Möglichkeiten des statistischen Lernens zu überprüfen, sind Analysen von Alltagsgesprächen aus Datenbanken. Daraus lassen sich die sprachlichen Muster ermitteln, die Kinder vermutlich beim Lernen der Sprache nutzen. Die Untersuchungen zeigen beispielsweise, nach welchen Regeln sich Wortarten unterscheiden lassen. So steht etwa zwischen einem Artikel (der/die/das) und dem Wort „ist“ immer ein Substantiv („Der Kuchen ist...“, „Die Sonne ist...“, „Das Haus ist...“). Die Analysen berücksichtigen die unterschiedlichsten Faktoren: So

Schau genau: In Nijmegen wird mit Experimenten am Bildschirm untersucht, wie schnell Kleinkinder Begriffe zuordnen können. Je schneller sie Wörter verarbeiten, desto leichter wird es ihnen später fallen, die Sprache zu lernen.



Die Verbindung macht's:
Die verschiedenen Teile des
Gehirns kommunizieren
über ein Netzwerk von
Fasern miteinander. Auch
wie sich das Verständnis
der Sprache entwickelt, ist
eng mit so einer Nerven-
verbindung verknüpft.

zeigte eine Studie, dass im Englischen Substantive aus mehr Silben bestehen als Verben und eher auf der ersten Silbe betont sind als andere Wortarten. Dank moderner Computertechnik hat die Forschung in diesem Bereich in den vergangenen Jahren deutliche Fortschritte gemacht. Automatisierte Systeme können in kurzer Zeit Tausende von Wortwechseln und Äußerungen analysieren. Damit gewinnt die Wissenschaft ein zunehmend besseres Verständnis des komplexen sprachlichen Inputs, dem Sprachanfänger ausgesetzt sind.

NUR MENSCHEN KÖNNEN WORTE KLUG KOMBINIEREN

Computer lassen sich auch einsetzen, um Lernmechanismen zu simulieren und damit bestehende Theorien zu überprüfen. Daran arbeitet Caroline Rowland am Max-Planck-Institut für Psycholinguistik gemeinsam mit Evan Kidd, Raquel Garrido Alhama, Andrew Jessop sowie einem britischen Kollegen. Die Idee ist, dass der Computer die

Sprache auf die gleiche Weise lernt wie Kinder. Allerdings hinkt die künstliche Intelligenz den Fähigkeiten der Kinder deutlich hinterher, sagt Caroline Rowland, zum Beispiel bei der Unterscheidung von Wortarten. „Selbst Dreijährige wissen, dass ein Satz wie ‚Ich esse ein Glückliche‘ keinen Sinn ergibt, aber Modelle erkennen so etwas nicht.“

Rowland sieht das Problem nicht in den zugrunde liegenden Sprachentwicklungsmodellen. Die Schwierigkeit für Computer liegt vielmehr darin, dass in realen Gesprächen die Sprache sozusagen verrauscht ist. Die Leute setzen neu an, verbessern sich, sprechen Sätze nicht fertig. Für Computermodelle ist es schwierig, mit diesem Rauschen umzugehen. Dazu kommen die Doppeldeutigkeiten in der natürlichen Sprache, sogar über verschiedene Wortarten hinweg: Verben können Substantiven gleichen („Ich fische im Trüben“ – „Im Aquarium sind Fische“) oder auch Adjektiven („Er weiß viel“ – „Die Wand ist weiß“).

„Es gibt noch jede Menge zu tun“, sagt Caroline Rowland. Sie hofft, in den

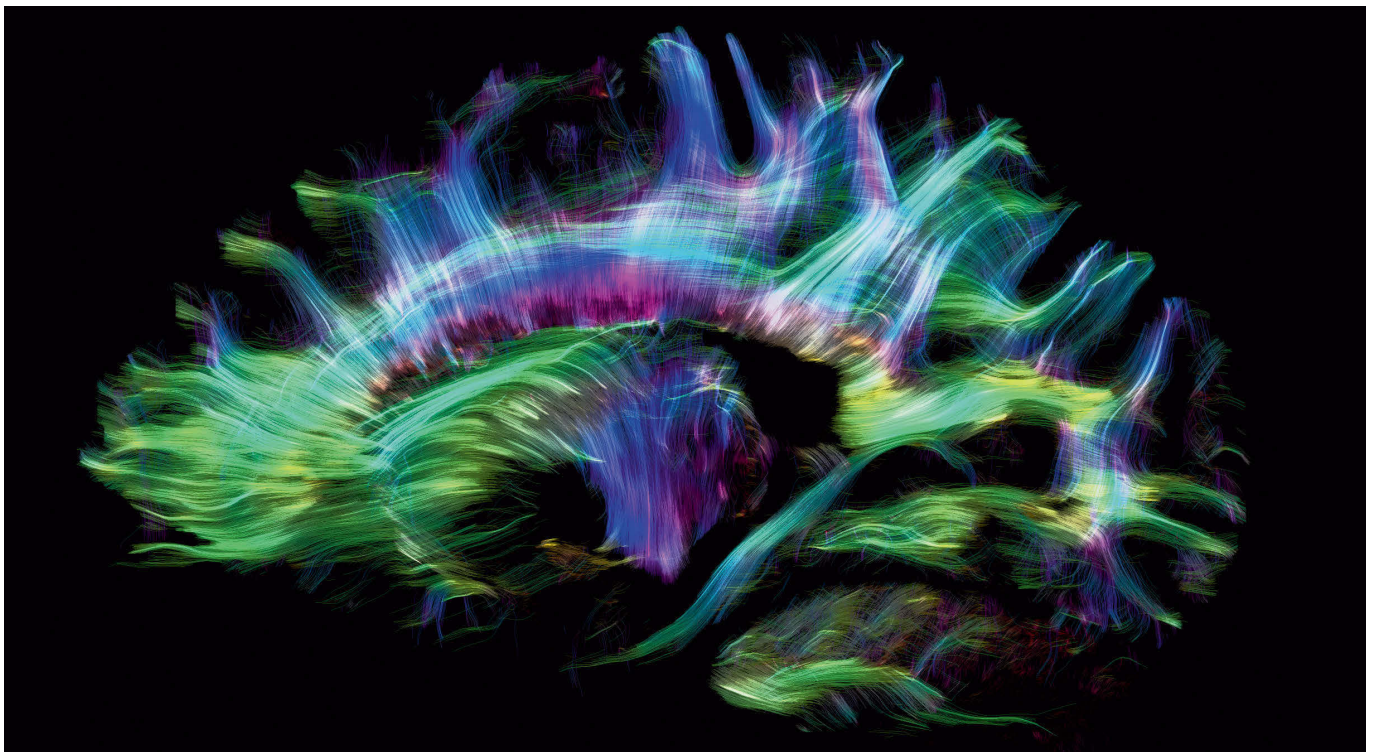


Foto: Alfred Anwander/ MPI für Kognitions- und Neurowissenschaften

kommenden Jahren mithilfe ihres Methoden-Portfolios viele Fragen beantworten zu können. Dabei schaut sie auch aufmerksam auf die Arbeiten anderer Kolleginnen und Kollegen, etwa auf die von Angela Friederici, die sich der Sprachentwicklung noch auf andere Weise nähert. Die Neuropsychologin ist Direktorin am Max-Planck-Institut für Kognitions- und Neurowissenschaften in Leipzig und befasst sich vor allem mit der Entwicklung des Gehirns, die beim Erlernen der Sprache eine entscheidende Rolle spielt.

„Im Grunde nähern Caroline Rowland und ich uns derselben Frage aus zwei verschiedenen Perspektiven an – die Sprachentwicklung ist unser gemeinsamer Nenner“, sagt Angela Friederici. „Ich stelle darüber hinaus auch die Frage, was uns zum Menschen macht. Menschen sind die einzigen Lebewesen, die Sprachelemente, einzelne Phrasen logisch kombinieren können. Das kann kein Tier.“ Hunde zum Beispiel könnten einzelne Worte wie „Stöckchen“ oder „Sitz“ lernen. Klug kombinieren wie ein Kleinkind aber könnten sie diese nicht.

EIN KINDERFEST WIRBT FÜR DIE SPRACHFORSCHUNG

Eines von Friedericis wichtigsten Forschungswerkzeugen ist die Magnetresonanztomografie (MRT), mit der bestimmte Prozesse im Gehirn von außen beobachtet werden können – etwa die Nervenleitung und die Aktivität bestimmter Hirnareale. Und damit hat sie vor allem durch den Vergleich von Kindern und Erwachsenen interessante Entdeckungen gemacht. Seit Langem ist bekannt, dass zwei Hirnareale besonders mit der Sprache verbunden sind, das Broca-Areal und das Wernicke-Areal. Der französische Chirurg Paul Broca entdeckte, dass Menschen, deren Broca-Areal geschädigt ist, die Fähigkeit verlieren, sich grammatikalisch korrekt auszudrücken. Der Neurologe Carl Wernicke wiederum stellte fest, dass das später nach ihm benannte Areal für das Verstehen von Sätzen bedeutend ist.

Angela Friederici hat mithilfe der MRT unter anderem herausgefunden, dass sich im Laufe der Hirnreifung eine Nervenverbindung zwischen beiden Arealen ausbildet, die eng mit dem zunehmenden Sprachverstehen der Kinder verknüpft ist. „Interessanterweise haben Tiere diese Verbindung nicht. Insofern kommt dieser Verbindung wahrscheinlich eine zentrale Rolle bei der Sprachentwicklung zu“, sagt Angela Friederici. Möglich waren diese Arbeiten nur, weil Angela Friederici mit Kliniken kooperiert, die ihr Bilddaten aus medizinischen Untersuchungen an Neugeborenen und Kleinkindern zur Verfügung gestellt hatten – mit Einverständnis der Eltern, versteht sich.

Auch Caroline Rowland ist auf Eltern angewiesen, die bereit sind, für die Sprachexperimente mit ihren Kindern ins Institut zu kommen. Immerhin dauert ein solcher Besuch etwa eine Stunde. Doch selbst die kleinsten Kinder hielten gut durch, sagt sie. Weil alles spielerisch ablaufe, seien die Kinder mit Neugierde dabei. Einmal im Jahr veranstaltet Caroline Rowland zusammen mit Kolleginnen und Kollegen von der Radboud-Universität nebenan das große Kinderfestival „Kletschtoppen“ – was so viel heißt wie „Quasselköpfe“. Ein buntes und lustiges Fest, mit dem die Forscher andere für ihre Arbeit begeistern wollen – vor allem auch Eltern, die Lust haben, mit ihren Kindern bei den Experimenten mitzumachen.

Es sind Moderatoren aus dem niederländischen Fernsehen da, die Forscher halten lockere Vorträge, und die Kin-



Angela Friederici, Direktorin am Max-Planck-Institut für Kognitions- und Neurowissenschaften, untersucht, wie Gehirn- und Sprachentwicklung zusammenhängen.

der können sich die Zeit mit Sprachspielen und Experimenten vertreiben. „Wir möchten gern mit Menschen aus unterschiedlichen Gesellschaftsschichten in Kontakt kommen, nicht nur mit bildungsnahen Familien, die sich eher für Forschung interessieren“, sagt Caroline Rowland. „Kletschtoppen“ sei ein Türöffner. „Wenn wir wissen wollen, wie die Sprachentwicklung funktioniert, dann müssen wir auch herausfinden, ob es Unterschiede zwischen Kindern mit ganz unterschiedlichen Hintergründen gibt.“ Das klingt sinnvoll, denn vielleicht kann ihre Forschung auch dazu beitragen, Kindern künftig zu helfen, wenn es mit dem Sprechenlernen mal hapert. ◀

 www.mpg.de/podcasts/lernen

AUF DEN PUNKT GEBRACHT

- Schon kleine Kinder sind in der Lage, unbewusst sprachliche Muster und Regeln wie Wortzusammenhänge, Wortarten oder Satzbau zu erkennen.
- Für Babys ist es eine besondere Herausforderung, in dem Fluss an Lauten einzelne Wörter zu erfassen. Tests haben ergeben, dass sie aber wiederkehrende Silbenkombinationen in kürzester Zeit als Wörter identifizieren können.
- Kinder, die früher als andere beginnen, Wortwissen anzusammeln und zu benutzen, haben später Vorteile in der Sprachentwicklung.
- Eine wichtige Rolle beim Lernen der Sprache spielt die Gehirnentwicklung. Eine Nervenverbindung zwischen zwei wichtigen Spracharealen, die sich erst nach der Geburt bildet, ist eng mit dem Sprachverstehen von Kindern verknüpft.





Finken in der Singschule

Bei Zebrafinken fällt kein Meistersänger vom Himmel. Jeder Jungvogel muss zunächst Gesangsunterricht nehmen. Singvögel sind deshalb gute Modellorganismen dafür, wie Lernvorgänge bei Wirbeltieren ablaufen. **Manfred Gahr** erforscht mit seinem Team am **Max-Planck-Institut für Ornithologie** in Seewiesen an verschiedenen Singvogelarten, wie diese ihren Gesang erlernen und was dabei im Gehirn vorgeht.

TEXT **TOBIAS HERRMANN**

Es braucht nicht viel Fantasie, um zu verstehen, woher der Zebrafink seinen Namen hat.

Vor den Toren Münchens, zwischen Starnberger und Ammersee, erstreckt sich das knapp 30 Hektar große Gelände des Max-Planck-Instituts für Ornithologie. Sogar einen natürlichen See gibt es hier. Neben den rund 2800 Zebrafinken, 500 Kanarienvögeln, Hühnern und Fischen arbeiten hier auch 170 Menschen.

In einem der über das Areal verstreuten Gebäude sitzt Manfred Gahr in seinem Büro im ersten Stock, einem großen, lichtdurchfluteten Raum mit zwei Schreibtischen und einem offenen Kamin. „Der Raum diente früher als Wohnzimmer“, erklärt Gahr. Früher, das heißt, als Erich von Holst und der spätere Nobelpreisträger Konrad Lorenz 1958 in das damalige Max-Planck-Institut für Verhaltensphysiologie einzogen. Seinerzeit war es üblich, dass Wissenschaftler dauerhaft auf dem Forschungsge-

lände wohnten. „Anzünden darf ich den Kamin aber nicht mehr, seit er beim letzten Mal das ganze Haus in dichten Rauch gehüllt hat“, erzählt er.

Während seines Studiums an der Universität Kaiserslautern hatte Gahr die Wahl zwischen zwei Forschungsprojekten: Eines befasste sich mit den weiblichen Geschlechtsorganen höhlenliebender Zwergspinnen, im Fachjargon den „Epigynen troglobionter Mikrophantiden“. Beim anderen ging es um die Erforschung von Vogelgesängen. „Unter Letzterem konnte ich mir irgendwie mehr vorstellen“, sagt Gahr lachend. Und so untersucht er heute inmitten herrlicher Natur mithilfe moderner Technik, was im Gehirn eines Vogels passiert, wenn er seinen Gesang erlernt.

Bei unseren einheimischen Arten singen zumeist die Männchen, Ausnahmen sind zum Beispiel Rotkehlchen und Star, bei denen auch die Weibchen aktiv



Oben Lauschangriff: Die Elektro-physiologin Lisa Trost hält eine Antenne in Richtung ihrer Vögel. Diese tragen kleine Mikrofon-sender auf dem Rücken, welche den Gesang aufnehmen und an die Antenne weiterleiten.

Rechte Seite Am Computer analysiert Trost diese Daten und vergleicht sie mit den Hirnströmen der Vögel. Bis zu acht Tiere kann Trost gleichzeitig aufzeichnen.

sind. Dieser Gesang muss erlernt werden. Anders verhält es sich etwa bei den Warnrufen, die nicht gelernt werden, sondern den Vögeln angeboren sind.

Bei den aus Australien stammenden Zebrafinken singen nur die Männchen. Sie sind sogenannte *closed-ended learners*, ihre Lernphase ist also begrenzt. Gut drei Monate hat ein Fink ungefähr Zeit, sich seinen Gesang anzutrainieren. Dann ist seine Schulzeit vorbei, und er singt das bis dahin Gelernte fortan für den Rest seines Lebens. „Man lernt nie aus“ – das trifft auf Zebrafinken also nicht zu.

Andere Arten verfolgen eine andere Strategie: Der Kanarienvogel etwa ist ein saisonaler Lerntyp, ein sogenannter *open-ended learner*. Ihre ersten Gesangsübungen machen Jungvögel bereits in ihrem ersten Lebenssommer und feilen dann den ganzen Winter intensiv an ihren Gesängen, die sie im folgenden

Frühjahr und Sommer zum Besten geben. Im darauffolgenden Herbst beginnen die Männchen, neue Silben einzubauen und ihren Gesang weiter zu verfeinern. Die Vögel singen also fast das ganze Jahr über, nur während des Federwechsels nach der Brut machen sie eine Pause.

ÜBUNG MACHT DEN MEISTER

Unter Ornithologen herrscht allerdings noch Uneinigkeit darüber, ob Kanarienvögel ihr gesamtes Repertoire bereits in den ersten Lebensmonaten erlernen und die verschiedenen Varianten nach und nach in ihren Gesang einbauen oder ob sie sich jedes Jahr neue Silben aneignen können.

Der eigentliche Lernvorgang verläuft bei den meisten Singvögeln sehr ähnlich: Die Jungen hören zunächst zu und versuchen anschließend, das Ge-



tiere bereits wieder geschlechtsreif. „Zebrafinken sind Opportunisten“, sagt Gahr. „In ihrer Heimat beginnen sie zu brüten, sobald es regnet – wohl wissend, dass der Regen ein reichhaltiges Buffet an Samen und Körnern hervorbringt, wenn ihre Jungen schlüpfen.“

DER GESANG JEDES FINKEN WIRD EINZELN AUFGEZEICHNET

Das Erlernen ihres Gesangs spielt sich bei Vögeln wie das Sprachlernen beim Menschen im Gehirn ab. Das „Gesangskontrollsystem“ im Singvogelhirn umfasst mehrere miteinander verknüpfte Gehirnbereiche. So ähnelt das sogenannte caudomediale Nidopallium in seiner Funktion dem Wernicke-Areal des Menschen, das für das Sprachgedächtnis zuständig ist. Das HVC (higher vocal center) des Vogels wiederum, das während des Lernvorgangs aktiviert wird, entspricht dem Broca-Zentrum im menschlichen Gehirn. Durch diese Analogien könnten die Studien der Seewiesener Forscher dazu beitragen, die Abläufe im Gehirn des Menschen beim Sprachlernen besser zu verstehen.

Für die Untersuchung des Gesangslernens müssen die Forscher wissen, welches Tier wann welche Silben und für wen singt. Aus diesem Grund tragen einige der Zebrafinken in der Voliere von Lisa Trost eine Art Rucksack auf dem Rücken. Der beinhaltet einen Mikrofonsender, der die Gesänge aufnimmt. Antennen senden die Mikrofonsignale zu einem Computer. So nehmen Lisa Trost und ihre Kollegen aus Gahr's Abteilung gleichzeitig die Gesänge einzelner Tiere auf und ermöglichen den Zebrafinken trotzdem das Leben in ihren sozialen Gruppen.

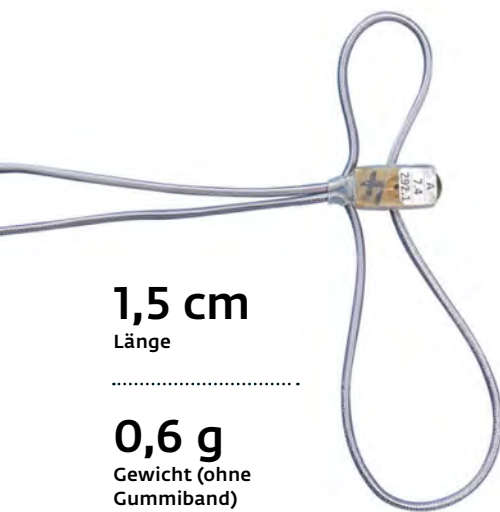
Andere Tiere haben zusätzlich einen Miniatursender auf dem Kopf. >

hörte zu imitieren. Dabei wird die vorgesungene Abfolge von Gesangssilben im akustischen Gedächtnis abgespeichert und dient als Vorlage, mit der der eigene Gesang abgeglichen wird.

Als Lehrmeister und Vorsänger dient in der Regel der Vater, es sind allerdings auch Ausnahmen bekannt, bei denen Jungtiere den Gesang von ihren Geschwistern, von anderen Vogelarten, von anderen Tieren oder gar von nichttierischen Quellen übernommen haben. Der Vogelforscher Jürgen Nicolai, der 1957 an das Max-Planck-Institut in Seewiesen kam, pfiff beispielsweise ein halbes Jahr lang einer Gruppe von Dompfaffen jeden Tag das Volkslied „Ein Jäger aus Kurpfalz“ vor. Nicht nur lernten die Dompfaffen, das Lied nachzupfeifen – sie konnten auch, ohne zu zögern, weitersingen, wenn der Wissenschaftler das Vorpfeifen an einer beliebigen Stelle unterbrach.

In Seewiesen erforschen die Ornithologen vor allem an Zebrafinken, wie diese ihren Gesang erlernen. „Nur wenige Tiergruppen lernen überhaupt ihre Lautäußerungen. Dazu zählen neben Singvögeln und Menschen auch Elefanten, Seehunde und Wale“, sagt Gahr. Unter den vielen Singvogelarten, die ebenfalls ihre Gesänge lernen, sind Zebrafinken besonders gut als Modellorganismus geeignet, denn sie lassen sich vergleichsweise leicht halten: So sind die Vögel reine Körnerfresser, was die Fütterung in den Volieren im Vergleich zu Insektenfressern einfacher macht. Außerdem sind die Finken gesellig und können problemlos in größeren Gruppen gehalten werden.

Ein weiterer Vorteil: Zebrafinken lassen sich in Gefangenschaft sehr gut vermehren. Ein Nistkasten und etwas Material zum Nestbau reichen aus. Nach nur drei Monaten sind die Jung-



1,5 cm

Länge

0,6 g

Gewicht (ohne Gummiband)

Eine Wanze für den Rücken: Kernstück für die Untersuchungen zum Gesangslernen sind die nur 0,6 Gramm schweren Miniatur-sender, die den Zebra-finken mittels Gummiband wie ein Rucksack um-geschnallt werden.

Dieser übermittelt die elektrischen Signale von im Gehirn implantierten Elektroden, die synchron zu den Gesangsaufnahmen gespeichert werden.

Die Elektroden werden so implantiert, dass sie in bestimmte Gebiete des Gesangskontrollsystems im Gehirn des Vogels reichen. Die Tiere sind während des Eingriffs narkotisiert und erhalten Schmerzmittel. Da die Wundheilung bei Vögeln äußerst schnell verläuft, bewegen sich die Tiere schon am Abend wieder völlig natürlich in ihrer Gruppe.

Normalerweise verbinden Neurowissenschaftler solche Elektroden per Kabel mit einem Computer. Damit sich die Vögel dann nicht in den Drähten verheddern, müssen sie allein in einem Käfig ohne Sitzstangen gehalten werden. Daher haben die Seewiesener Forscher zusammen mit den Technikern neben den kabellosen Mikrofonseindern auch die kleinen Sender entwickelt, die Hirnströme, Gesänge oder auch den Herzschlag per Funk weiterleiten. Damit können die Tiere sich völlig frei bewegen und sich untereinander austauschen.

MIT FUNKSENDERN AUF FELDVERSUCH IN DER SAVANNE

Inzwischen ist die Technik so weit entwickelt, dass sie sich auch in freier Natur einsetzen lässt. So haben Gahr und sein Team in der südafrikanischen Kalahari-Savanne das Singverhalten von Mahaliwebnern untersucht – eine in Gruppen lebende Vogelart, bei der die dominanten Paare mit unglaublicher Präzision im Duett singen. Die exakte Abstimmung der Gesangssilben hatte das Interesse der Wissenschaftler geweckt. Mit ihren Minisendern konnten sie im natürlichen Lebensraum der Vögel simultan die Signale der Nervenzellen und die Gesänge aufnehmen und analysieren.

Das Ergebnis: Mit dem Einsatz des Partners änderte sich die Aktivität der Nervenzellen im Gehirn des anderen Vogels. Dadurch verlangsamt sich der Gesangsrythmus, sodass die Partner sich beim Singen abwechseln können: „Der rhythmische Duettgesang der Individuen wird also durch ein akustisches Signal des Duettpartners erreicht“, erklärt Gahr. Auf diese Weise synchronisieren sich beide Gehirne, bilden eine Art Netzwerk und agieren praktisch als ein gemeinsamer Schaltkreis. Ähnliche Mechanismen könnten auch beim Menschen für die soziale Interaktion zuständig sein und so beispielsweise die Bewegungskoordination beim Paartanz regulieren, vermuten die Forscher.

Gahr und seine Mitarbeitenden haben zudem untersucht, was im Gehirn junger Zebrafinken während der Lernphase vor sich geht, wenn diese ihr Vorbild imitieren. Dabei haben sie entdeckt, dass im HVC-Areal ein Nervenwachstumsfaktor gebildet wird, der sogenannte BDNF (brain-derived neurotrophic factor). Bei Säugetieren beeinflusst der BDNF unter anderem die Bildung der Kontaktstellen zwischen Nervenzellen, der Synapsen. Der Wachstumsfaktor könnte also im HVC die Ausprägung lokaler Schaltkreise beeinflussen.

Doch nicht nur hormonabhängig gebildete Wachstumsfaktoren beeinflussen die Hirnaktivität während der Lernphasen. „Ohne Sexualhormone entwickelt sich das Gesangssystem überhaupt nicht“, erklärt Gahr. Lange Zeit interessierten sich Forscher ausschließlich für das männliche Sexualhormon Testosteron. Dieses Dogma herrschte auch noch, als Manfred Gahr Doktorand war – damit wollte er sich aber nicht abfinden: „Testosteron lässt sich im Gehirn in Östrogen umwandeln, eigentlich ein weibliches Sexual-



hormon. Aus diesem Grund habe ich mir angeschaut, was dieses Östrogen eigentlich macht.“

In den 1980er-Jahren begannen Krebsforscher, mithilfe von Antikörpern den Einfluss von Östrogen auf die Tumorbildung zu untersuchen. Gahr machte sich das Verfahren zunutze und konnte dadurch erstmalig nachweisen, dass in den Gesangsarealen des Vogelhirns Östrogenrezeptoren vorhanden sind. Bei der Gesangsentwicklung von Vögeln müssen folglich sowohl Testosteron als auch Östrogen eine Rolle spielen. „Im Gehirn spielen bei beiden Geschlechtern sowohl ‚männliche‘ als auch ‚weibliche‘ Hormone eine große Rolle. Bei den jungen Zebrafinken wirkt der Wachstumsfaktor BDNF wie Östrogen und erleichtert das Erlernen von Gesängen“, erklärt Gahr.

Deshalb also lassen sich auch Weibchen vieler Arten mit Testosterongaben zum Singen animieren. Jüngste Studien an Kanarienvogelweibchen zeigen, dass dies wohl auch bei natürlicherweise

singenden weiblichen Singvögeln auf erhöhte Testosteronproduktion zurückzuführen ist.

Warum die Gesänge der Vögel nicht komplett angeboren sind und die Tiere sie lernen müssen, ist noch unklar. Das Erlernen des Gesangs könnte der Artenbildung dienen oder über die Herkunft des Sängers informieren. Da der Gesang bei vielen Arten der Partnerwahl und der Revierverteidigung dient, können Weibchen die Männchen mit einem anderen Gesang wählen als den, den sie in ihrer Jugend gehört haben. Benachbarte Revierinhaber wiederum können einen Eindringling daran erkennen,

Geht's noch kleiner? In Seewiesen arbeiten Wissenschaftler (Manfred Gahr, links) eng mit Ingenieuren wie Johann Sagunsky zusammen, um noch kleinere und leistungsstärkere Sender zu bauen.

dass dieser einen anderen Dialekt singt. Zudem hilft vokales Lernen bei der Kommunikation innerhalb einer Vogelfamilie und erleichtert die Entstehung von komplexen Gesangsstrukturen wie Duetten oder Gruppengesängen. ◀

 www.mpg.de/podcasts/lernen

AUF DEN PUNKT GEBRACHT

- Wie bei den meisten einheimischen Singvögeln singen auch bei den Zebrafinken nur die Männchen. Ihren Gesang müssen sie jedoch erst erlernen.
- Gesteuert wird dieser Lernvorgang im Gesangskontrollsystem im Gehirn der Finken. Eine entscheidende Rolle spielen dabei die Sexualhormone Testosteron und Östrogen.

Auge in Auge mit dem Rechner

Die Augen sind unser Fenster zur Welt, verraten aber auch viel über uns. Das nutzen **Andreas Bulling** und seine Mitarbeiter am **Max-Planck-Institut für Informatik** in Saarbrücken und an der Universität Stuttgart aus, wenn sie Computern beibringen, unsere Blicke zu deuten. Letztlich wollen sie so auch Roboter oder Avatare in puncto Kommunikation auf Augenhöhe mit uns bringen.

TEXT **PETER HERGERSBERG**

Achten Sie öfter mal auf Ihre Augenbewegungen“, sagt Andreas Bulling zum Abschied lachend. Besser ist das. Denn im Gespräch mit ihm wird klar: Unsere Blicke, die uns die Welt zeigen, zeigen uns auch der Welt. Sie verraten etwas über unseren Charakter oder die soziale Dynamik in einer Gruppe, um nur zwei Beispiele für die Forschung des Informatikers zu nennen, der eine Forschungsgruppe am Saarbrücker Max-Planck-Institut für Informatik leitet und inzwischen auch eine Professur an der Universität Stuttgart übernommen hat.

„Wir Menschen steuern und analysieren diese Signale unterbewusst“, sagt Andreas Bulling. „Manche Menschen können das nicht, etwa wenn sie unter Autismus leiden.“ Sie schauen manchmal an uns vorbei oder starren uns unverwandt an, und sie können umgekehrt unsere Blicke oft auch nicht richtig lesen. „Das kann sehr irritierend sein“, so Bulling.

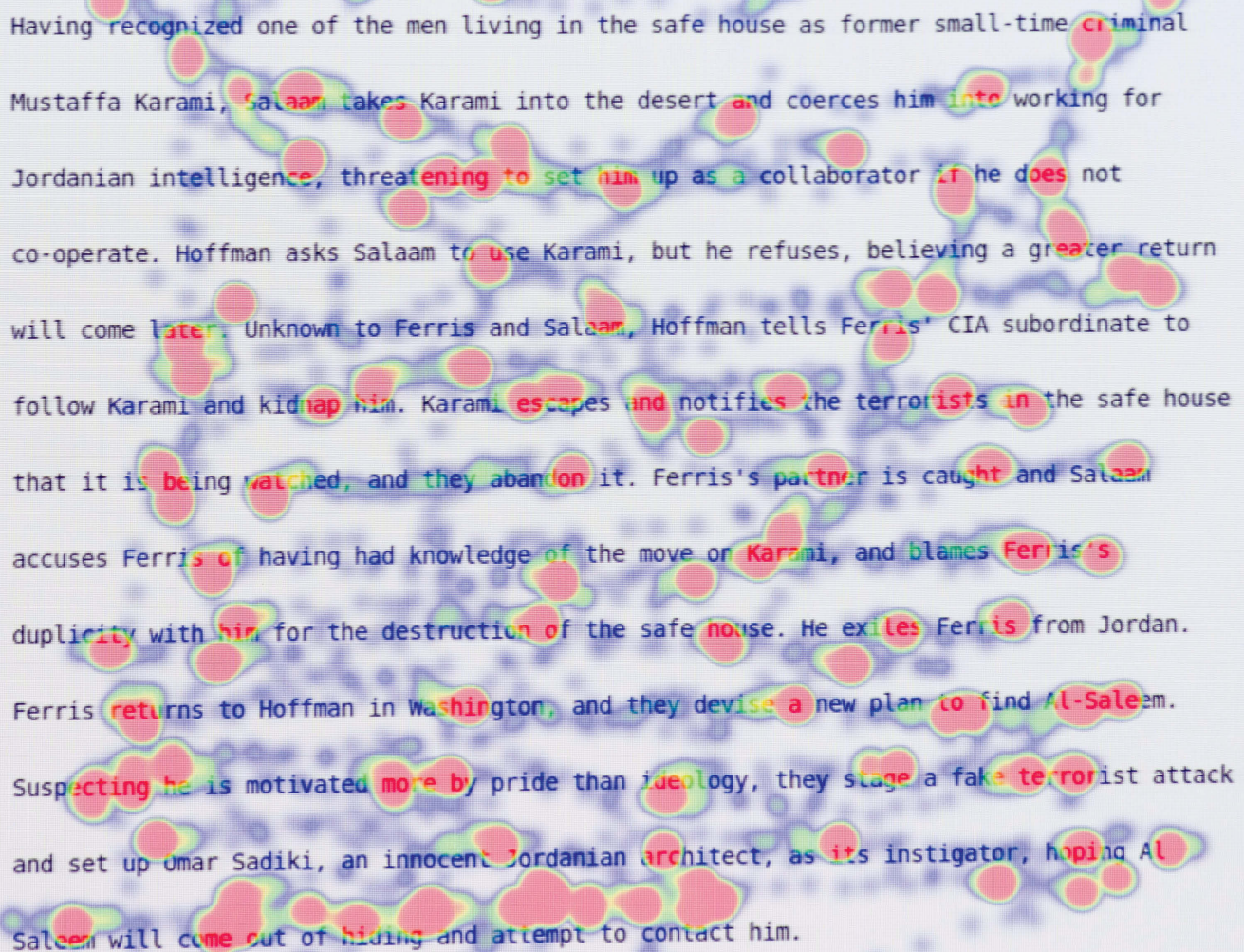
Seine Forschung könnte da Abhilfe schaffen. Denn der Informatiker bringt Computern bei, menschliche Augenbewegungen zu verstehen. Eine entsprechende Software könnte etwa Menschen mit Autismus bei der Interpretation der Blicke anderer und der Steuerung der eigenen Augenbewegungen unterstützen und passende Instruktionen etwa in eine Brille einspiegeln.

Andreas Bulling und seine Mitarbeiter wollen Maschinen in Sachen Kommunikation darüber hinaus auf Augenhöhe mit uns Menschen bringen. So möchten sie langfristig etwa humanoide Robotern ermöglichen, die Blicke von Menschen auch in einer größeren Personengruppe zu interpretieren und ihre Kameraaugen so zu steuern, dass wir ihr Blickverhalten als natürlich empfinden. Aber auch Fahrerassistenzsysteme könnten aus unseren Augenbewegungen wichtige Informationen ziehen.

Um das zu erreichen, bedienen sich Andreas Bulling und seine Mitarbeiter bei der computergestützten Analyse



Blickkontakt: Max-Planck-Forscher haben ein Computerprogramm entwickelt, das erkennt, ob eine Person einer anderen in die Augen schaut.



Having recognized one of the men living in the safe house as former small-time criminal Mustaffa Karami, Salaam takes Karami into the desert and coerces him into working for Jordanian intelligence, threatening to set him up as a collaborator if he does not co-operate. Hoffman asks Salaam to use Karami, but he refuses, believing a greater return will come later. Unknown to Ferris and Salaam, Hoffman tells Ferris' CIA subordinate to follow Karami and kidnap him. Karami escapes and notifies the terrorists in the safe house that it is being watched, and they abandon it. Ferris's partner is caught and Salaam accuses Ferris of having had knowledge of the move on Karami, and blames Ferris's duplicity with him for the destruction of the safe house. He exiles Ferris from Jordan. Ferris returns to Hoffman in Washington, and they devise a new plan to find Al-Saleem. Suspecting he is motivated more by pride than ideology, they stage a fake terrorist attack and set up Omar Sadiki, an innocent Jordanian architect, as its instigator, hoping Al-Saleem will come out of hiding and attempt to contact him.

Lese-Prognose: Die Augenbewegungen beim Lesen untersuchen Forscher schon seit dem 19. Jahrhundert. Andreas Bullings Team arbeitet nun an einem Modell, das allein anhand des Textes vorhersagt, welche Wörter eine lesende Person fixieren wird.

von Augenbewegungen eines entscheidenden Kniffs. „Wir waren die Ersten, die dafür maschinelles Lernen nutzen.“ Die künstliche Intelligenz eröffnete dem Forscherteam völlig neue Möglichkeiten, in unseren Augen zu lesen.

Die Erforschung des Blickverhaltens hat schon eine längere Tradition. Damit begonnen haben Forscher Ende des 19. Jahrhunderts. So verfolgte der französische Augenarzt Louis Émile Javal damals als Erster, wie Menschen lesen. Dabei stellte er fest, dass unsere Augen nicht stetig über Schriftzeilen wandern, sondern von Wort zu Wort springen, wobei wir aber vor allem Schlüsselbegriffe fixieren, wie sich später herausstellte.

Seit dem 20. Jahrhundert entdecken dann auch Unternehmen die Aussagekraft der Augenbewegungen. So untersuchen Zeitungs- und Magazinmacher,

worauf sich unsere Augen in einem Artikel richten, und Marketing-Fachleute lassen analysieren, wie sie Werbung platzieren oder Informationen auf eine Verpackung drucken müssen, damit Kunden sie wahrnehmen. Und manche Webdesigner nutzen Auswertungen von Augenbewegungen, um Internetseiten so zu gestalten, dass die Blicke von Nutzern dort hängen bleiben, wo sie sie hinlenken möchten.

AUGENBEWEGUNGEN ALS KOMMUNIKATIONSKANAL

Wie Kunden Entscheidungen treffen, ist nur einer der Denkprozesse, die Kognitionswissenschaftler anhand von Blickanalysen untersuchen. „Wir nutzen Augenbewegungen gewissermaßen als Fenster zu kognitiven Prozessen“, sagt Peter König, Professor an der Universität Osnabrück. „Sie sind ein Paradigma für die Funktion des Gehirns.“

Nun haben auch Computerwissenschaftler wie Andreas Bulling Augenbewegungen als Datenquelle und Kom-

munikationskanal für sich entdeckt. Bullings Gruppe geht es dabei nicht nur um kognitive Prozesse, sondern auch um unser Verhalten, etwa bei der Nutzung von digitalen Geräten. Zu diesem Zweck bringt Andreas Bulling Computern erst einmal bei, die Blickrichtung richtig zu erkennen, und zwar nicht nur in einem perfekt ausgeleuchteten Gesicht und in immer gleicher Laborumgebung, wie es beim computergetriebenen Abschätzen der Blickrichtung bis dato üblich war.

Wenn Wissenschaftler Computern beibringen, die Richtung abzuschätzen, in die ein Mensch guckt, setzen sie schon länger auf maschinelles Lernen. Lange nutzten sie für das Training der Rechner jedoch wenig alltagsnahe Daten. Um das zu ändern, installierten die Forscher um Andreas Bulling auf den Notebooks von 15 Freiwilligen ein Programm, das die Probanden beim Arbeiten am Rechner über mehrere Tage hinweg immer wieder aufforderte, einen Punkt auf dem Bildschirm zu fixieren, und dann ein Foto machte.

So erhielt das Team Bilder in wechselnder Umgebung und bei oft schlechten Lichtverhältnissen. Da sie zudem wussten, wohin die Hilfskräfte geschaut hatten, entstand auf diese Weise ein umfangreicher Datensatz, mit dem die Forscher anschließend ein Programm trainierten, Blickrichtungen auch unter schwierigen Bedingungen zu ermitteln. „Dieser Datensatz ist viel größer und natürlicher, dadurch auch anspruchsvoller als diejenigen, die es vorher gab“, sagt Bulling. „Aber er ist noch immer nicht optimal.“ So saßen die Personen bei der Aufnahme der Trainingsdaten immer vor Computern, auf die sie mehr oder weniger frontal schauten. Wenn sich jemand bewegt oder einen Punkt aus dem Augenwinkel anpeilt, erkennt das Programm die Augenposition kaum noch. „Für uns ist es deshalb auch ein Thema, wie wir zu noch realistischeren Datensätzen kommen.“

Eine Möglichkeit dafür bieten mobile Eyetracker. Solche Geräte arbeiten ziemlich genau, sind bislang allerdings recht auffällig: An einem brillenartigen Gestell sind verschiedene Kameras befestigt, die das Auge und das Gesichtsfeld einer Person aufnehmen, sowie Infrarot-LEDs, deren Reflexe die Kameras aufzeichnen. Wer ein solches Gerät trägt, ähnelt einem Cyborg. Mitmenschen kann das ziemlich irritieren.

Für einen alltäglichen Einsatz hat das Team von Andreas Bulling daher den Prototyp eines Eyetrackers mit einer Handvoll handelsüblicher Kameras entwickelt, die nur wenig größer als Stecknadelköpfe sind. Dass diese Kameras nur eine beschränkte Auflösung haben, machen die Forscher mit dem richtigen Training wett. Mit Daten, welches Kamerabild zu welcher Augenposition gehört, bringen sie einem Computer bei, auch die Aufnahmen der sehschwachen Kameras richtig zu deuten. Inzwischen vermarktet das Berliner Start-up Pupil Labs, an dem Andreas Bulling beteiligt ist, einen Eyetracker, der sich kaum noch von einer etwas auffälligeren Bril-

le unterscheidet und auf dem Konzept der Saarbrücker Forscher basiert.

„Wir verwenden unauffällige Eyetracker noch nicht in der alltäglichen Kommunikation, können die Geräte aber bereits in der Marktforschung oder bei Computerspielen in der virtuellen Realität zu Anwendung bringen“, sagt Bulling. Vor allem sind sie jedoch für die Forschung interessant. „In Studien, in denen es um soziale Interaktion geht, ermöglichen sie einen natürlicheren Umgang unter den Teilnehmern.“ Das dürfte auch die Untersuchungen von Bullings Team zur Dynamik in Gruppen künftig noch aussagekräftiger machen.

WARNHINWEISE FÜR DISPLAY-FIXIERTE

Überraschende Perspektiven für die computergestützte Blickanalyse haben die Computerwissenschaftler aber auch schon mit den herkömmlichen Eyetrackern aufgetan. So staffierten die Forscher 20 Testpersonen mit solchen Blickfängern aus und verfolgten deren Augenbewegungen, während die Probanden ihre Smartphones verwendeten. Zusätzlich erfassten die Forscher, welche App die Teilnehmer auf ihrem Mobilgerät gerade nutzten, und analysierten die Szene um die Teilnehmer herum.

Die steile These hinter der Datensammlung: Anhand der Augenbewegungen lasse sich vorhersagen, ob sich die Aufmerksamkeit eines Smartphone-Nutzers in den nächsten Sekunden der Umgebung zuwenden und dort bleiben wird. Tatsächlich erlernte der Computer mit den Daten ein Modell, das dies zumindest in Teilen leistet.

Mit solchen Modellen könnten Smartphone-Apps abschätzen, ob ein Mensch, der auf sein Telefon starrend durch die Gegend läuft, ein Hindernis übersehen könnte, und den Displayfixierten Nutzer dann noch rechtzeitig warnen. Aufmerksamkeitsanalysen, die Andreas Bulling nun mit einem ERC-Grant vorantreiben kann, könnten zu-



Fokussiert: Andreas Bulling (rechts) entwickelt unter anderem mit Sander Staal von der ETH Zürich Modelle unserer Aufmerksamkeit, um etwa Benachrichtigungen über neue E-Mails so zu gestalten, dass sie die Arbeit am Computer kaum stören.

dem Hinweise geben, wie sich der Fokus einer Person etwa auf einem Text halten lässt. „Auf diese Weise ließe sich vielleicht der Entwicklung entgegenwirken, dass sich Menschen immer leichter von einer Aufgabe ablenken lassen“, so der Forscher.

Helfen können Eyetracker auch bei Analysen, wie die Stimmung in einer diskutierenden Gruppe ist und wer darin das Sagen hat. Entscheidendes Hilfsmittel war dabei eine Methode, die Philipp Müller, ein Doktorand am Max-Planck-Institut für Informatik, entwickelt hat. Sie erkennt auf gewöhnlichen Kameraaufnahmen einer diskutierenden Gruppe, wer wen ansieht und wer konsequent an jemand anderem oder an allen anderen vorbeischaute. Sie kann darüber hinaus Stimmungen aus den Gesichtern ablesen. Kombiniert unter anderem mit Analysen des Tonfalls,

lässt sich aus diesen Merkmalen gut ableiten, ob eine Debatte eher konstruktiv verläuft und wer sich darin als Wortführer hervortut.

Dass unsere Blicke viel über die Dynamik einer Gruppe aussagen, ist für Menschen leicht nachvollziehbar: Wer in der Gruppe das Sagen hat, zieht häufiger auch alle Blicke auf sich. Und bei schlechter Stimmung starren Menschen eher betreten zu Boden, als den Augenkontakt der anderen zu suchen. Diese Signale der nonverbalen Kommunikation sollen künftig auch Computer deuten können.

Nicht immer jedoch lassen sich die Ergebnisse, die das maschinelle Lernen durch eine statistische Analyse unserer Blicke liefert, mit einem konkreten Blickmuster erklären. Wenn es zum Beispiel um Merkmale unserer Persönlichkeit geht, sind subtile Muster unserer Augenbewegungen entscheidend. So gelangten die Forscher um Andreas Bulling zusammen mit Kollegen von der University of South Australia mit der Kombination aus Eyetracking und maschinellem Lernen zu belastbaren Aussagen über vier Charakterzüge ihrer Testpersonen.

Dafür zeichneten die Wissenschaftler die Augenbewegungen von 42 Studienteilnehmern auf, während diese eine im Schnitt zwölf Minuten dauernde Aufgabe auf dem Saarbrücker Campus erledigten. Mit den Blickdaten eines Teils der Probanden, die zudem einen psychologischen Standardfragebogen ausfüllten, fütterten sie ein Modell. Derart trainiert, konnte der Rechner den anderen Probanden an den Augen ablesen, wie neurotisch sie sind, wie gut sie sich mit anderen vertragen, ob sie extrovertiert durchs Leben gehen und wie gewissenhaft sie eine Aufgabe erledigen.

Bei drei weiteren Eigenschaften, mit denen Psychologen eine Persönlichkeit skizzieren, gab das Modell allerdings noch keine brauchbare Einschätzung



Blickfänger für den Alltag: Auf Basis von Arbeiten der Saarbrücker Max-Planck-Forscher hat das Berliner Unternehmen Pupil Labs einen mobilen Eyetracker entwickelt, der einer normalen Brille ähnelt.

ab. „Und die Vorhersagen sind derzeit auch noch nicht genau genug für praktische Anwendungen“, sagt Andreas Bulling. Aber das System wird künftig sicherlich noch zuverlässiger. Denn Datensätze von nur ein paar Dutzend Studienteilnehmern erlauben nicht gerade ein besonders differenziertes Training für diese diffizile Aufgabe. Mit mehr Anschauungsmaterial dürfte die Charakteranalyse daher präziser werden.

DATENSCHUTZ – EIN WICHTIGES THEMA BEIM EYETRACKING

Für unseren Umgang etwa mit Robotern oder Avataren sind das vielversprechende Aussichten, schließlich sollen den Computersystemen auf Dauer alle verbalen und nonverbalen Kommunikationskanäle offen stehen, die auch wir Menschen nutzen. Die Perspektiven, dass ein Rechner allein aufgrund unseres weitgehend vom Unterbewusstsein gesteuerten Blickverhaltens ein Persönlichkeitsprofil erstellt, kann aber auch beängstigend wirken.

Andreas Bulling ist sich bewusst, dass die Software die Möglichkeit eröffnet, Menschen einer computergestützten Charakterprüfung zu unterziehen – eine Möglichkeit, die von Unternehmen oder autokratischen Regimen missbraucht werden könnte, die heute schon das Verhalten von Menschen

digital analysieren. Der Informatiker betont allerdings, dass die Technik noch lange nicht in der Lage ist, Persönlichkeitsmerkmale eines Menschen zuverlässig und ohne dessen Mithilfe zu ermitteln. Allein schon deshalb, weil eine Person den Eyetracker dafür momentan unmittelbar vor ihren Augen tragen müsse.

Und selbst wenn es einmal möglich werden sollte, den Charakter eines Menschen per Ferndiagnose und mit wenig Aufwand aus dessen Blicken zu lesen, lasse sich die Technik wie die meisten Erfindungen zum Wohl und zum Wehe der Menschen einsetzen. „Aber schon heute wird man etwa bei einem Bewerbungsgespräch hinsichtlich der Persönlichkeit, Einstellungen und Absichten analysiert – vom Menschen gegenüber“, sagt Andreas Bulling. „Das ist den meisten jedoch nicht bewusst oder wird als selbstverständlich akzeptiert, da es ein Mensch macht.“

Auch wenn die Wissenschaft in vielen Forschungsfeldern den Missbrauch ihrer Errungenschaften nicht ausschließen kann, will sie zumindest dazu beitragen, ihn möglichst zu erschweren. Andreas Bulling hat daher auch den Datenschutz beim Eyetracking zu seinem Thema gemacht. „Für mich ist das ein sehr wichtiger Aspekt. Wie im Umgang mit anderen digitalen Anwendungen, vor allem mit sozialen Medien,



Gute Perspektive: Andreas Bulling ist überzeugt, dass er mit der Analyse von Augenbewegungen für die nonverbale Mensch-Maschine-Kommunikation sein weiteres Forscherleben leicht füllen kann.

müssen wir den Datenschutz beim Eye-tracking berücksichtigen“, sagt er. „Wir sind führend in der Forschung zu diesem Thema, und wir werden unsere Aktivitäten dazu in den kommenden Jahren noch ausbauen.“

Die informationelle Selbstbestimmung greift zwar gewöhnlich erst, wenn es um deren konkrete Verwendung geht. Aber Daten, die es nicht gibt, können nicht missbraucht werden. So haben Andreas Bulling und seine Mitarbeiter sich mit dem Datenschutz bei den Kamerabildern beschäftigt, die Eye-tracker von den Szenen vor den Augen ihrer Träger machen. Dank dieser Aufnahmen erkennen die Geräte nicht nur, wohin eine Person guckt, sondern auch, was sie dort sieht.

Ins Blickfeld der Kamera können aber unversehens Passwörter oder Geheimzahlen geraten und natürlich Menschen, die wahrscheinlich nicht ungefragt erfasst werden wollen. Um das zu verhindern, helfen einmal mehr Blickanalysen und die Lernfähigkeit der richtigen Software. Mittels der Szenenkamera lässt sich nämlich gut erkennen, ob wir am Rechner gerade unser Bankkonto öffnen, am Geldautomaten die PIN eingeben oder einer fremden Person gegenüberstehen. Die Lösung für eine solche Situation ist sehr analog: Die Software lässt einfach einen Deckel vor die Kamera schieben. „Da die Szene

dann nicht mehr analysiert werden kann, leiten wir stattdessen aus den Augenbewegungen ab, ob und wann die Person die sensible Situation wieder verlässt“, so Bulling.

Hier trägt die Gelehrigkeit der Software zur Lösung eines Datenschutzproblems bei. Manchmal wird sie aber auch selbst zum Problem. Denn ein entsprechend trainiertes Programm kann aus dem Muster der Augenbewegungen weit mehr ablesen als wir Menschen. Zum Beispiel, ob eine Frau oder ein Mann den Eye-tracker trägt. „Es sind aber nur manche Merkmale in den Augenbewegungen, aus denen das Geschlecht hervorgeht“, erklärt Bulling. „Weil wir die für andere, gewünschte Analysen nicht brauchen, verrauschen wir sie.“ Ähnlich lässt sich auch mit anderen Informatio-

nen aus unseren Blicken umgehen. „Was erhalten und was verrauscht werden soll, wird der Nutzer zukünftig selbst entscheiden können.“

Ob es um nonverbale Kommunikation mit Menschen oder Maschinen geht, um eine lebensechte virtuelle Realität, die Nutzung digitaler Geräte oder den Schutz der Blickanalysen, die dabei helfen: Mit künstlicher Intelligenz die Daten von Augenbewegungen zu analysieren, hat sich für Andreas Bulling als sehr fruchtbringend erwiesen. Und er ist sicher, dass das auch so bleiben wird: „Das ist eine Goldgrube“, sagt Bulling. „Damit kann ich mein weiteres Forscherleben leicht ausfüllen.“ ◀

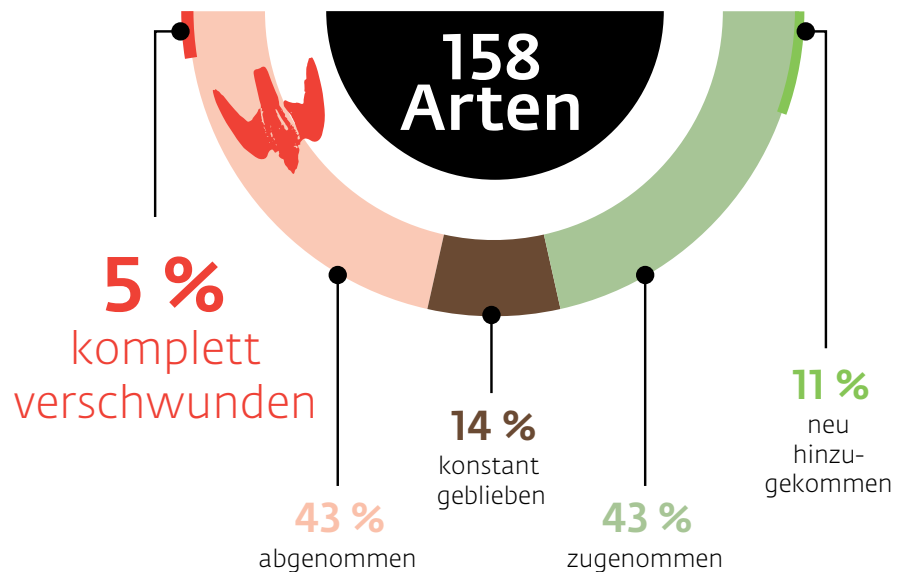
 <https://www.mpg.de/podcasts/lernen/maschinelleslernen>

AUF DEN PUNKT GEBRACHT

- Augenbewegungen tragen wesentlich zur nonverbalen Kommunikation von Menschen bei. Diesen Kommunikationskanal sollen künftig auch Computersysteme wie etwa Roboter oder Fahrerassistenzsysteme nutzen.
- Die Gruppe von Andreas Bulling verfeinert die computergestützten Methoden, welche die Blickrichtung von Personen abschätzen. Zudem entwickelt sie mithilfe des maschinellen Lernens Modelle, die aus Augenbewegungen Charakterzüge oder die Stimmung in einer Gruppe ableiten. So können Computer auch lernen, etwa Kameraaugen eines Roboters natürlich zu steuern.
- Die Forscher arbeiten an verschiedenen technischen Lösungen, um den Datenschutz bei der Analyse von Augenbewegungen zu gewährleisten.

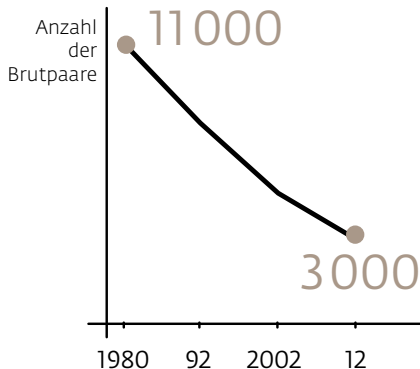
Auf und Ab in der Vogelwelt

Nicht nur die Insekten in Deutschland sterben, auch viele Vogelarten sind dramatisch zurückgegangen. Eine Studie der Ornithologischen Arbeitsgemeinschaft Bodensee unter Mitarbeit des Max-Planck-Instituts für Verhaltensbiologie in Konstanz hat ergeben, dass es unter den Vögeln rund um den Bodensee Verlierer und Gewinner gibt: Die meisten auf Wiesen, Feldern und in Siedlungen lebenden Arten sind zwischen 1980 und 2012 stark zurückgegangen, manche sind sogar komplett verschwunden. In Wäldern und Feuchtgebieten haben die Arten dagegen mehrheitlich zugenommen.



S SIEDLUNG **Wa** WALD **Wi** WIESE **F** FELD

RAUCHSCHWALBE



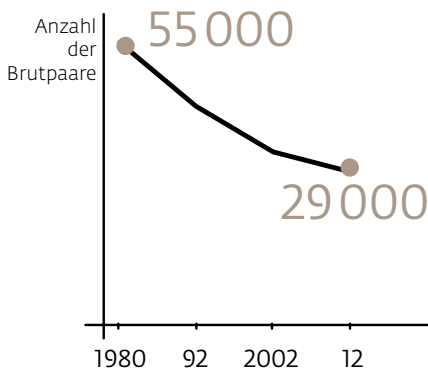
-70 %

Hauptursachen: Verlust kleinbäuerlicher Betriebe, Verlust von Nistmöglichkeiten an Gebäuden

S



HAUSSPERLING



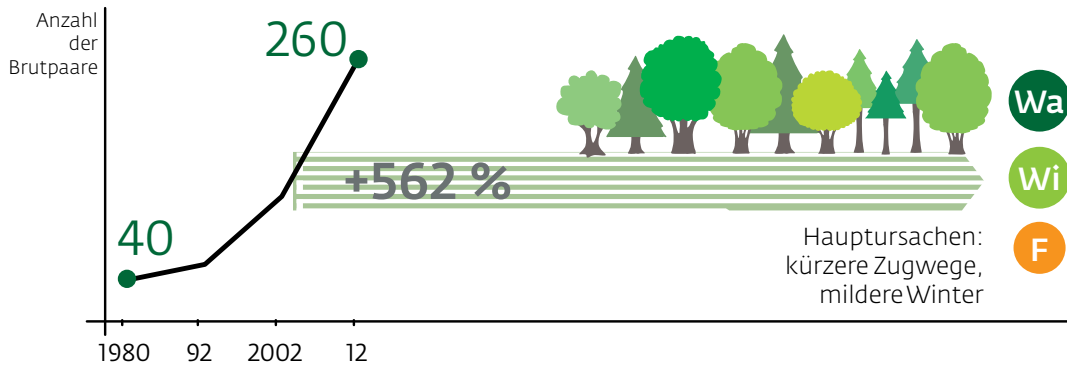
-46 %

Hauptursachen: Verlust von Nistmöglichkeiten an Gebäuden, Nahrungsmangel

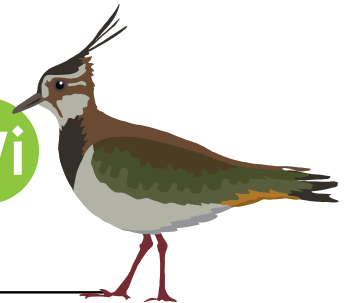
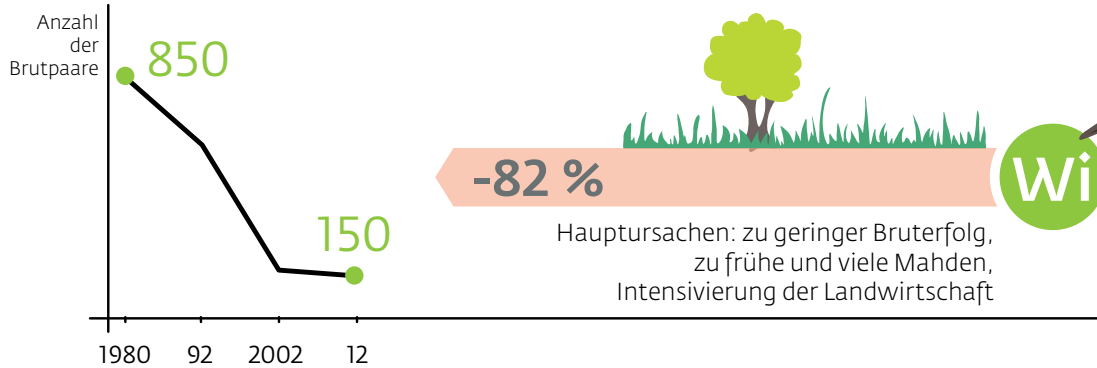
S



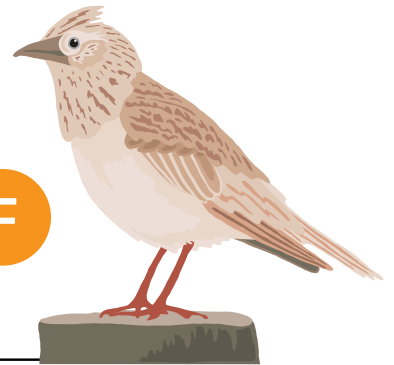
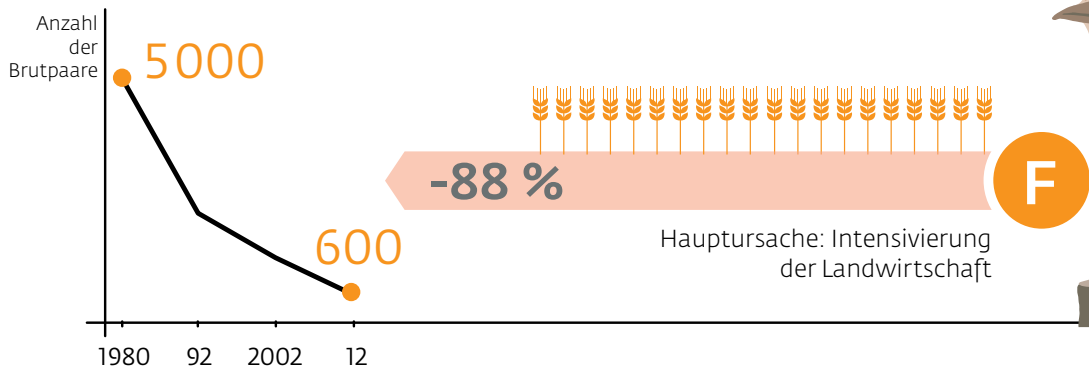
ROTMILAN



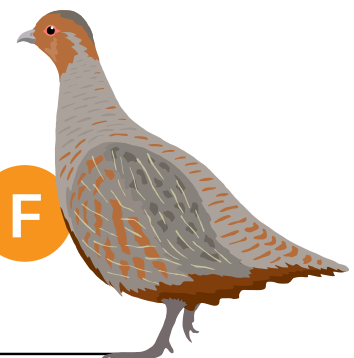
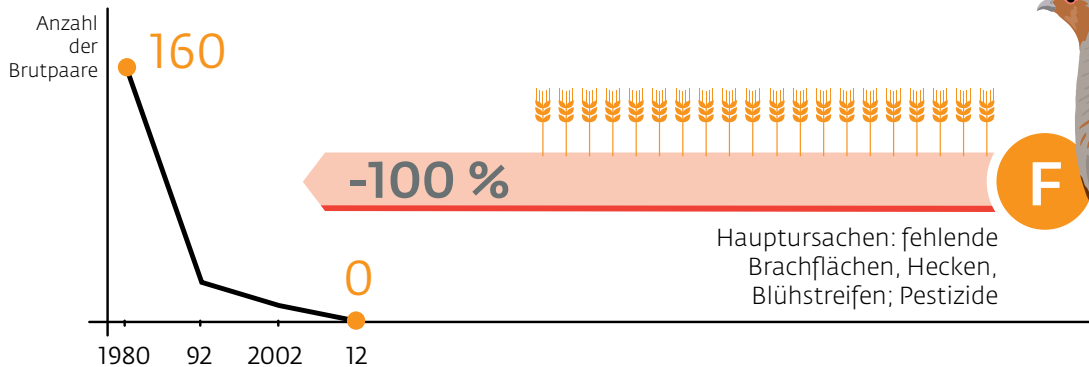
KIEBITZ



FELDLERCHE



REBHUHN



Die All-Chemie von Neutronensternen

Forscher finden heraus, dass die Kollision dieser kosmischen Objekte tatsächlich schwere Elemente produziert

Es war eine Sensation, als Astronomen am 17. August 2017 Gravitationswellen von zwei verschmelzenden Neutronensternen sowie am selben Ort im optischen Bereich eine Kilo-

nova beobachteten. Man vermutete seinerzeit, dass bei einer solchen kosmischen Kollision und der anschließenden Explosion schwerere Elemente als Eisen entstünden. Jetzt haben Forscher, auch aus dem Heidelberger Max-Planck-Institut für Astronomie, in den Spektren von damals tatsächlich ein solches Element identifiziert: Strontium, das offenbar im sogenannten r-Prozess erzeugt wurde. Dieser schnelle („rapid“) Neutroneneinfang scheint maßgeblich zu sein für die Produktion von schweren Elementen. Die Kilonova erzeugte eine Blase, die sich mit rasenden 20 bis 30 Prozent der Lichtgeschwindigkeit ausdehnte. Der Anteil des neu gebildeten Strontiums an der expandierenden Hülle beträgt etwa fünf Erdmassen. Mit dieser Entdeckung haben die Wissenschaftler eindeutig nachgewiesen, dass die Vereinigung zweier Neutronensterne die Voraussetzungen für den r-Prozess schafft, in dem neue Elemente erbrütet werden. (www.mpg.de/14031853)



Crash im All: Auf dieser künstlerischen Darstellung verschmelzen zwei sehr dichte Neutronensterne. Kurz nach einem solchen Ereignis kommt es zu einer Kilonova.

Zweiklassengesellschaft in der Bronzezeit

Grabfunde weisen auf stabile Hierarchien in süddeutschen Bauernhöfen hin

Ein Forschungsteam unter Beteiligung des Max-Planck-Instituts für Menschheitsgeschichte hat bei der Untersuchung bronzezeitlicher Gräberfelder im Lechtal bei Augsburg frühe soziale Ungleichheiten aufgedeckt. Demnach gab es bereits vor 4000 Jahren eine deutliche Kluft zwischen Arm und Reich – und das innerhalb eines Haushalts und über Generationen hinweg. Die Familien der wohlhabenden Hofbesitzer waren mit Waffen und aufwendigem Schmuck bestattet. Gleichzeitig gab es arm Bestattete, die zum Haushalt gehörten und aus der Umgebung stammten, aber nicht mit der Familie verwandt waren. Unklar ist, ob es sich um Knechte und Mägde oder vielleicht sogar um eine Art Sklaven

handelte. Der Befund spricht für eine Gesellschaftsstruktur, wie sie aus der Antike in Griechenland und Rom bekannt ist. Die untersuchten Familien im Lechtal lebten jedoch mehr als 1500 Jahre früher. Interessant ist auch, dass die Frauen in den Familien nicht aus der Region stammten, sondern aus 400 bis 600 Kilometer Entfernung kamen. Die Studie hat zudem erstmals Familienstammbäume über mehrere Generationen hinweg rekonstruiert. (www.mpg.de/13976900)

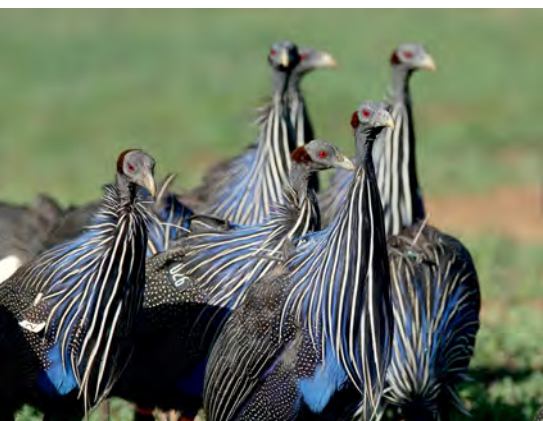
Wertvolles Indiz: Der verzierte Dolch, der in einem Grab aus der Bronzezeit südlich von Augsburg entdeckt wurde, weist auf den hohen sozialen Status des Bestatteten hin.



In guter Gesellschaft

Ein großes Gehirn ist keine Voraussetzung für die Bildung mehrschichtiger Sozialverbände

Die soziale Struktur mancher Hühnerschwärme ist komplexer als gedacht. Forscher des Max-Planck-Instituts für Verhaltensbiologie haben entdeckt, dass Geierperlhühner stabile soziale Einheiten bilden. Die aus Afrika stammenden, truthahnsgroßen Vögel müs-



sen also wissen, wer in ihrer eigenen und wer in einer anderen Gruppe lebt – und das, obwohl sie ein relativ kleines Gehirn besitzen. Es ist das erste Mal, dass solch eine soziale Struktur bei Vögeln beschrieben wurde. Ein Jahr lang verfolgten die Forscher die sozialen Beziehungen von mehr als 400 Vögeln und erfassten rund um die Uhr die Positionen der Tiere mithilfe von GPS-Sendern. Dabei entdeckten sie, dass jeder Vogel mit 13 bis 65 Artgenossen zusammenlebt. Obwohl die Perlhühner im Laufe des Tages regelmäßig mit anderen Gruppen zusammenkommen, wechseln sie die Gemeinschaft nicht. (www.mpg.de/14084909)

Geierperlhühner leben in Gruppen mit engem Zusammenhalt. Dies ermöglicht ihnen bei ihren Zügen durch die Landschaft, sich gegenseitig zu koordinieren.

Gesundheit in späten Jahren ist eine Lebensaufgabe

Ernährungsumstellung im Alter macht Mäuse nicht mehr gesünder

Wie bleibt man im Alter möglichst lange fit und gesund? Alternsforscher haben darauf eine einfache Antwort: wenig und gesund essen. Aber wann muss man damit anfangen? Und reicht es, auch wenn man das nur eine kurze Zeit durchhält? Forschende um Linda Partridge, Direktorin am Max-Planck-Institut für Biologie des Alterns, haben in Tierversuchen junge und alte Mäuse auf Diät gesetzt – mit unterschiedlichem Erfolg. Mäuse leben länger und sind im Alter gesünder, wenn sie mit Eintritt in das Erwachsenenalter 40 Prozent weniger zu essen bekommen. Dabei bekommen die Mäuse Futter, das mit Vitaminen und Mineralien ange-

reichert ist, um einer Mangelernährung vorzubeugen. Fangen die Mäuse allerdings erst im Seniorenalter mit der reduzierten Nahrungszufuhr an, ändert sich die Lebenserwartung kaum. Eine kurze Fastenzeit bietet zudem keinen Langzeitschutz: Fressen die Mäuse danach wieder wie zuvor, so sinkt ihre Lebenserwartung wieder. Der Grund dafür ist offensichtlich, dass sich das Fettgewebe an die langjährige Ernährung erinnern kann. Das Gewebe kann die Aktivität seiner Gene nicht mehr an die veränderte Ernährung anpassen. Die Forscher vermuten, dass sich die Ergebnisse auch auf den Menschen übertragen lassen. (www.mpg.de/14020051)

Schwergewicht im Herzen von Abell 85

Im Weltall treten schwarze Löcher in unterschiedlichen Größen und Massen auf. Den Rekord hält jetzt ein Exemplar im Galaxienhaufen Abell 85. Dort sitzt inmitten der rund 700 Millionen Lichtjahre entfernten zentralen Galaxie Holm 15A ein schwarzes Loch, das 40-Milliarden-fach schwerer ist als unsere Sonne. Das haben Forscher des Max-Planck-Instituts für extraterrestrische Physik und der Universitäts-Sternwarte München herausgefunden, indem sie fotometrische Daten sowie spektrale Beobachtungen auswerteten. Schon vorher vermuteten die Astronomen, dass Holm 15A etwas Besonderes sein müsse: Das Herz dieser gigantischen Galaxie – eine der größten überhaupt – erscheint im Teleskop extrem diffus und lichtschwach. Je matter das Zentrum einer Galaxie glimmt, desto massereicher ist das schwarze Loch darin. Das Massemonster in Holm 15A ist sehr wahrscheinlich durch die Kollision von Galaxien entstanden, deren zentrale schwarze Löcher dabei verschmolzen. (www.mpg.de/14207667)

Rekord im Galaxienhaufen: Abell 85, aufgenommen am Wendelstein-Observatorium der Ludwig-Maximilians-Universität München. Die zentrale, helle Galaxie Holm 15A hat einen ausgedehnten diffusen Kern. In ihm verbirgt sich ein schwarzes Loch mit der 40-Milliarden-fachen Masse unserer Sonne.



Kinder verlängern das Leben



Einen Luftsprung wert: Auch wenn das Familienleben selten so harmonisch ist wie auf Hochglanzbildern, können sich Eltern immerhin über eine höhere Lebenserwartung freuen.

Zwischen der Lebenserwartung von Menschen und der Anzahl ihrer Kinder gibt es offensichtlich einen Zusammenhang: Wer ein oder zwei Kinder bekommt oder adoptiert, lebt in der Regel länger als Kinderlose. Eine Studie von Kieron Barclay vom Max-Planck-Institut für demografische Forschung und einem schwedischen Kollegen ist den Ursachen dafür auf den Grund gegangen. Ihre Analyse ergab zum einen, dass Eltern wohl von vornherein besser dastehen als jene, die keine Kinder bekommen. Vereinfacht gesagt, finden gesunde, gebildete und wohlhabende Frauen und Männer eher einen Partner und haben auch eher die Ressourcen, eine Familie zu gründen, als schlecht situierte Personen. Zum anderen legen die Daten nahe, dass die meisten Leute ihren Lebensstil verändern, wenn sie Kinder kriegen: Mütter und Väter verhalten sich gesünder, verunglücken seltener als Kinderlose, und auch Herz-Kreislauf-Erkrankungen treten bei ihnen seltener auf. (www.mpg.de/13968242)

Gedachte Bewegungen können das Gehirn verändern

Computerschnittstellen beeinflussen die Struktur der Hirnsubstanz

Die Wirkung sogenannter Gehirn-Computer-Schnittstellen beruht darauf, dass die bloße Vorstellung einer Handlung schon messbare Veränderungen der elektrischen Hirnaktivität auslöst. Diese Signale können ausgelesen und maschinell in Steuersignale umgesetzt werden, um zum Beispiel eine Prothese zu bewegen. Wie Wissenschaftler des Max-Planck-Instituts für Kognitions- und Neurowissenschaften gemeinsam mit Kollegen herausfanden, können diese Vorstellungen Spuren im Gehirn hinterlassen. Für die Studie stellten sie Probanden die Aufgabe, sich bestimmte Bewegungen

ihres Arms oder der Füße vorzustellen. Über die Gehirn-Computer-Schnittstelle trainierten die Teilnehmer, diese fiktiven Bewegungen zu verfeinern. Vor und nach dem Training wurde das Gehirn der Probanden im Magnetresonanztomografen (MRT) untersucht. Tatsächlich fanden die Forscherinnen und Forscher messbare Veränderungen in der Hirnregion, die für motorische Aufgaben zuständig ist – und das schon nach einer Stunde Training. Die Methode könnte sich für die Reha von Patienten nach einem Schlaganfall oder Hirntumor eignen. (www.mpg.de/14092596)

Weniger ist mehr

Wale und Delfine haben sich vor etwa 50 Millionen Jahren aus landlebenden Vorfahren entwickelt. Heute verbringen die luftatmenden Säugetiere ihr ganzes Leben im Meer. Forschende der Max-Planck-Institute für molekulare Zellbiologie und Genetik und für Physik komplexer Systeme haben 85 Gene identifiziert, die die wasserlebenden Säugetiere im Laufe ihrer Evolution verloren haben. Ein Teil davon wurde schlicht überflüssig. So besitzen Wale und Delfine kein Gen zur Bildung von Speichel – sie können Nahrung im Wasser auch ohne Speichel schlucken. Andere Genverluste sind sogar regelrecht von Vorteil: Da jetzt ein bestimmtes Gen fehlt, hat sich die Fähigkeit der Tiere verbessert, DNA-Schäden zu reparieren, die durch den erheblichen Sauerstoffmangel beim Tauchen verursacht werden. Nach Verlust anderer Gene sind die Tiere unter Wasser vermutlich vor Blutgerinnseln und Lungenproblemen geschützt. Zudem sind auch alle Gene zur Bildung des schlafregulierenden Hormons Melatonin verloren gegangen. Möglicherweise ist das der Grund, warum die Tiere mit nur einer Hirnhälfte schlafen können, während die andere Hälfte Bewegung und Atmung koordiniert. Manchmal bringt also auch der Verlust von Genen die Evolution voran. (www.mpg.de/13913934)

Wale und Delfine stammen von landlebenden Vorfahren ab. Für das Leben im Wasser waren manche ihrer Gene überflüssig.

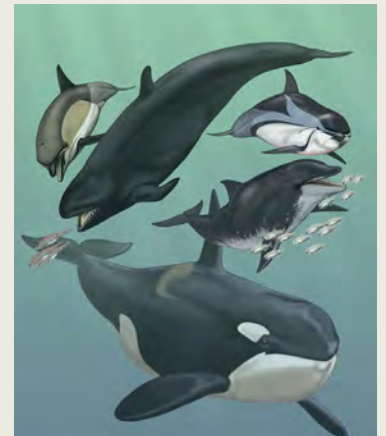


Foto: Juan Cruz Mountford/unsplash; Grafik: Carl Buell, John Gatesy

Jede Maus ist anders

Wissenschaftler messen die Persönlichkeit der Nagetiere



Manche Mäuse sind neugierig und erkunden jede neue Versteckmöglichkeit. Andere sind eher ängstlich und bleiben lieber in ihrem Nest.

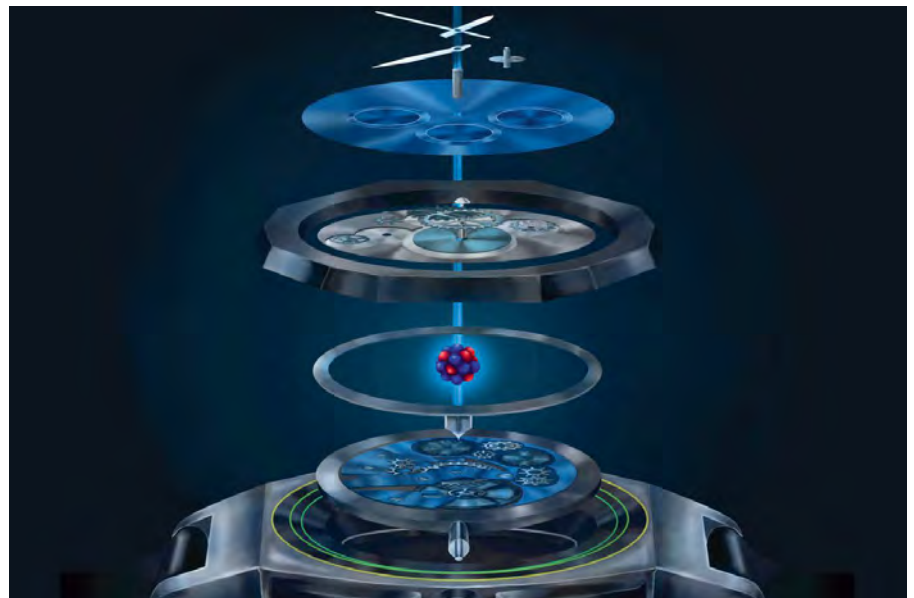
Auch Tiere haben Persönlichkeit: Die einen sind mutig, die anderen ängstlich; manche sind Einzelgänger, andere lieben Gesellschaft. Beim Menschen lässt sich der Charakter mit Multiple-Choice-Tests direkt ermitteln, bei Tieren ist dies aber deutlich schwieriger. Wissenschaftler des Max-Planck-Instituts für Psychiatrie in München haben nun eine Berechnungsmethode entwickelt, mit der sie die Persönlichkeit von Mäusen messen können. Die Forscher haben Videos auf 60 verschiedene Verhaltensweisen hin analysiert und mithilfe eines Algorithmus nach stabilen Persönlichkeitszügen gesucht. Während die menschliche Persönlichkeit

häufig anhand von fünf Kategorien beschrieben wird, haben die Wissenschaftler bei Mäusen vier Kategorien gefunden. Die Charakterzüge bleiben über die Zeit hinweg stabil – selbst dann, wenn die Tiere in unterschiedlichen sozialen Gruppen leben. Genanalysen zeigten außerdem, dass die verschiedenen Charaktere mit unterschiedlicher Aktivität von Genen im Gehirn einhergehen. Die Ergebnisse sind die Grundlage für eine genauere personalisierte Psychiatrie, denn nun können die Forscher untersuchen, wie die Persönlichkeit von Genen, Medikamenten und dem Alter beeinflusst wird. (www.mpg.de/14111218)

Atomuhren kommen zum Kern

Die Anregung von Thorium-229 ermöglicht genauere Zeitmessung

Damit Systeme der globalen Satellitennavigation wie GPS oder Galileo nicht mehr bloß auf den Meter, sondern sogar auf wenige Zentimeter genau messen können, benötigen sie präzisere Atomuhren. Ein Team unter Leitung der Münchner Ludwig-Maximilians-Universität, an dem auch Forschende des Max-Planck-Instituts für Kernphysik beteiligt waren, hat jetzt einen Schritt hin zu solchen genaueren Zeitmessern gemacht. Den Physikern ist es gelungen, Atomkerne von Thorium-229 zum Schwingen anzuregen. Die Kerne erreichen dabei deutlich höhere Frequenzen als Elektronen, die bislang den Takt von Atomuhren vorgeben. Gleichzeitig benötigen die Kernanregungen in diesem Thoriumisotop wesentlich weniger Energie als in anderen Elementen, sodass sie mit kompakten Lasern möglich sind. Die dafür notwendige Technik dürfte sich aus diesem Grund auch in Atomuhren integrieren lassen. (www.mpg.de/0420191de)

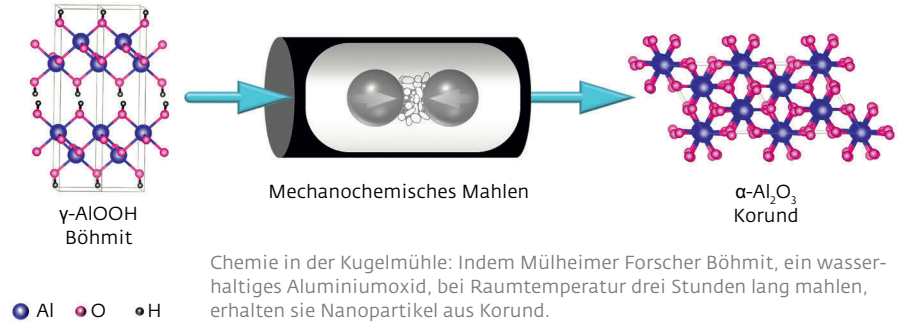


Bauanleitung für eine Kernuhr: Mit der Anregung von Atomkernen in Thorium-229 haben Physiker die Voraussetzung für genauere Atomuhren geschaffen, die auch die satellitengestützte Navigation präziser machen könnten.

Nanokeramik aus der Kugelmühle

Winzige Korundpartikel für Fahrzeugkatalysatoren oder stabile Keramiken lassen sich einfach erzeugen

Autokatalysatoren und Materialien für Schneidewerkzeuge oder Zahnimplantate könnten künftig robuster werden und sich einfacher herstellen lassen als bislang. Denn Chemiker des Max-Planck-Instituts für Kohlenforschung haben einen Weg gefunden, Korund, eine besonders stabile Variante von Aluminiumoxid, in Form von Nanoteilchen herzustellen, und zwar einfach indem sie Böhmit, ein wasserhaltiges Aluminiumoxid, drei Stunden lang in einer Kugelmühle mahlen. Bislang ließ sich Korund nur bei Temperaturen von 1000 Grad oder in einer wochenlangen Prozedur bei hohem Druck erzeugen, bildete dann aber größere Partikel. Die im me-

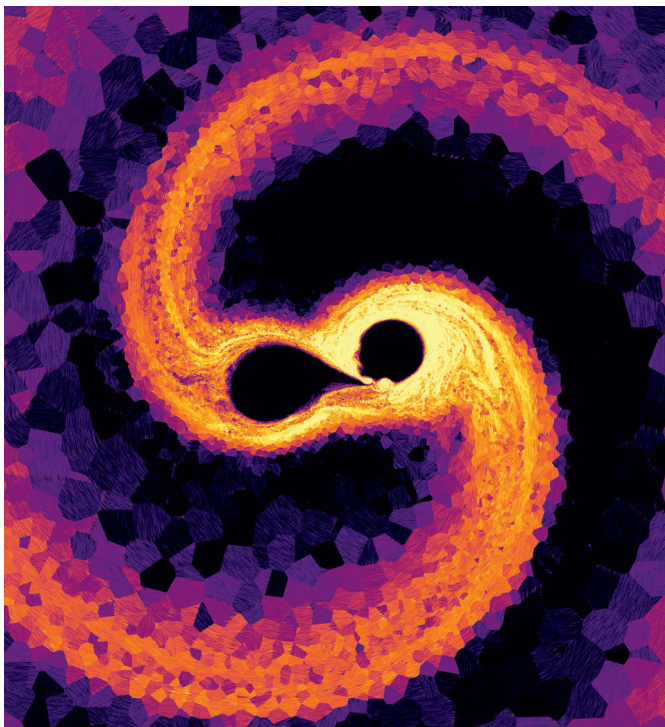


chanochemischen Verfahren der Mülheimer Chemiker hergestellten Teilchen könnten unter anderem als widerstandsfähiges Trägermaterial in Autokatalysatoren oder Ausgangsmaterial für beson-

ders harte Keramiken dienen. Ein erstes Industrieunternehmen arbeitet schon daran, Nanokorund nach dem Mülheimer Rezept im großen Stil zu produzieren. (www.mpg.de/14068225)

Magnetare – einfach unwiderstehlich

Computersimulationen zeigen, wie bei der Verschmelzung zweier Sterne ein starkes Magnetfeld entsteht



Magnetberge gehören ins Reich der Fabel, doch Magnetsterne gibt es wirklich. Diese Magnetare, kompakte Überbleibsel von Supernovae, sind die stärksten Magneten im All. Wie aber kommen sie zu ihrer ungewöhnlich hohen Anziehungskraft – 100-Millionen-mal stärker als das stärkste Magnetfeld, das jemals von Menschen erzeugt wurde? Forscher, unter anderem aus dem Max-Planck-Institut für Astrophysik, haben dieses 70 Jahre alte Rätsel nun gelöst. Am Computer verschmolzen die Forscher zwei Sterne, von denen jeder ein ganz normales Magnetfeld hatte. Solche Magnetfelder sind nichts Besonderes, unsere Sonne etwa besitzt ebenfalls eines, das konvektive Ströme in ihrer Gas-hülle produzieren. Zudem kommt es in der Natur relativ häufig vor, dass Sterne miteinander kollidieren. Genau diesen Prozess stellten die Astrophysiker nach. Das Endprodukt der Simulation war ein einziger, jetzt aber äußerst stark magnetischer Stern; er ähnelte Tau Scorpii, den man am Himmel tatsächlich beobachtet. Explodiert er eines Tages als Supernova, wird aus den Trümmern ein Magnetar geboren. (www.mpg.de/13959658)

Verschmelzung im Computer: Die Simulation zeigt die Entstehung eines Magnetsterns wie Tau Scorpii. Auf der Abbildung ist ein Schnitt durch die Bahnebene zu sehen. Die Färbung gibt die Stärke des Magnetfelds an, die Schraffierung stellt die Feldlinien dar.

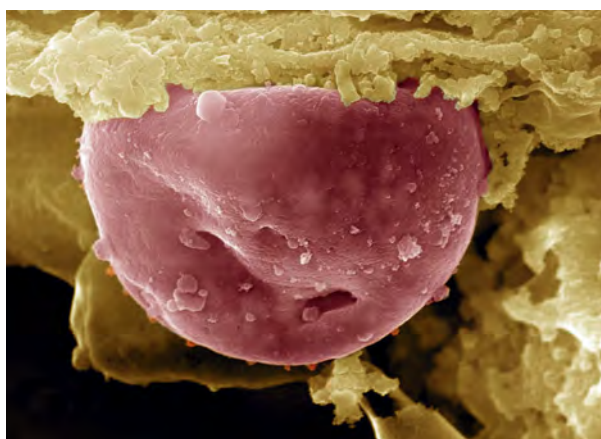
Tödliche Netze

Immunzellen lösen bei Malaria Organschäden aus

Vor 15 Jahren haben Forschende am Max-Planck-Institut für Infektionsbiologie in Berlin einen damals noch unbekannten Abwehrmechanismus des Immunsystems entdeckt. Besondere weiße Blutkörperchen lösen ihre Zell- und Kernmembran auf und setzen netzartige DNA-Strukturen frei, wenn sie mit einem Krankheitserreger in Kontakt kommen. An diesen NETs genannten DNA-Fallen bleiben die Erreger kleben und werden abgetötet. Allerdings dürfen sie nur kurz und lokal aktiv sein, ansonsten können die NETs auch eigenes Gewebe angreifen und Autoimmunerkrankungen auslösen. Neuesten Ergebnissen der Berliner Wissenschaftler zufolge sind die NETs auch der Grund für schwere Verläufe von Malaria. Bei hoher NET-Konzentration im Blut lagern sich rote Blutzellen an die Wände fei-

ner Blutgefäße der Organe und verstopfen diese. Fehlende Sauerstoffversorgung und Einblutung durch zerstörte Gefäße können dann zu Leber- und Nierenversagen, Lungenödem oder Hirnschwellungen führen. (www.mpg.de/14012642)

Ein rotes Blutkörperchen bindet an die Wand eines kleinen Blutgefäßes in der Leber. Dies kann das Organ schädigen.



Burg für sensible Daten

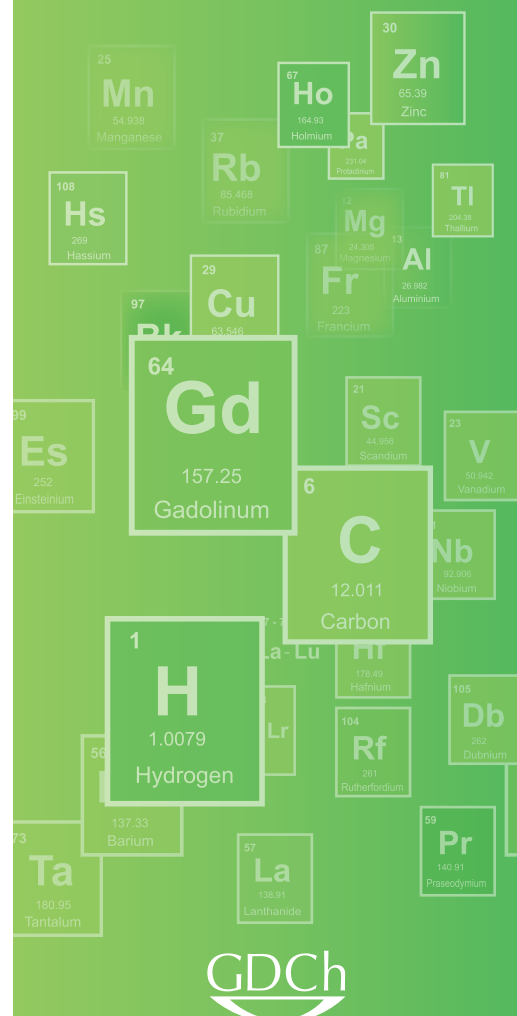
Eine neue Technik ermöglicht es, Komponenten einer Software mit geringem Rechenaufwand voneinander zu isolieren

Passwörter, Kreditkartennummern oder kryptografische Schlüssel in Computerprogrammen zu sichern, benötigt künftig weniger Rechenleistung als bislang. Forscher des Max-Planck-Instituts für Softwaresysteme haben eine Technik namens ERIM entwickelt, um die Komponenten einer Software voneinander zu isolieren. Das System funktioniert ähnlich wie unterschiedliche Verteidigungsanlagen einer Burg, die sich separat schützen

lassen: Bei einem Hackerzugriff, der häufig über eine einzige Schwachstelle etwa in einem Onlinedienst passiert, könnten sensible Daten auf diese Weise geschützt werden. Die neue Methode der Max-Planck-Wissenschaftler erfordert drei- bis fünfmal weniger Rechenaufwand als die zweitbeste Isolationstechnik. Damit wird es für Onlinedienste wie Google oder Facebook praktikabler, die Technik anzuwenden. (www.mpg.de/13834580)

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

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



GDCh

GESELLSCHAFT DEUTSCHER CHEMIKER

www.gdch.de/karriere

Teilchenjäger auf Fährten suche

Mit dem Nachweis des Higgs-Teilchens gelang am Teilchenbeschleuniger Large Hadron Collider ein großer Wurf. Andere erwartete oder unerwartete Entdeckungen, mit denen die Physik das Erscheinungsbild unserer Welt erklären wollte, blieben dagegen aus. Nun suchen auch **Hermann Nicolai**, Direktor am **Max-Planck-Institut für Gravitationsphysik** in Potsdam, und **Siegfried Bethke**, Direktor am **Max-Planck-Institut für Physik** in München, neue Perspektiven für die Teilchenphysik.

Unfassbar: Mit einer freien Illustration versucht das Cern, das Higgs-Boson vorstellbar zu machen. So bedeutsam dessen Entdeckung war, so schwierig ist es aber auch, ein solches Elementarteilchen zu visualisieren.

TEXT **ROLAND WENGENMAYR**

Im Jahr 2012 verkündete das Europäische Teilchenforschungszentrum Cern eine Sensation mit Ansage: Am stärksten Teilchenbeschleuniger der Welt, dem Large Hadron Collider (LHC), wurde das Higgs-Teilchen aufgespürt. Endlich, denn es bewies den Mechanismus, der den Elementarteilchen Masse gibt und bereits in den 1960er-Jahren unter anderem von Peter Higgs, François Englert und Robert Brout beschrieben worden war. Ohne diesen Mechanismus gäbe es weder uns noch das uns bekannte Universum. Für seine theoretische Beschreibung erhielten Higgs und Englert 2013 den Nobelpreis für Physik – Brout war zwei Jahre zuvor gestorben. Das Higgs-Boson lieferte außerdem den letzten fehlenden Baustein des sogenannten Standardmodells der Teilchenphysik.

Doch seither herrscht Funkstille aus Genf, zumindest was weitere große Entdeckungen am LHC betrifft. Dabei hatten Vorhersagen aus der theoretischen Physik hohe Erwartungen an die Teilchenkollisionen im knapp 27 Kilometer langen Beschleunigerring geschürt. Es ging um eine Physik jenseits des Standardmodells und damit auch um buchstäblich existenzielle Zusammenhänge.

Da ist zum Beispiel das Problem mit der Antimaterie. Eigentlich hätte sie nach dem Urknall in derselben Menge entstehen sollen wie Materie – und beide hätten sich gegenseitig gleich wieder vernichten müssen. So kam es zum Glück nicht. Denn eine solche perfekt symmetrische Welt hätte ein Universum ohne Galaxien, Sterne und Planeten produziert, angefüllt nur vom Lichtecho der vollständigen Vernichtung.

Da Astronomen im Universum bislang keine Antimaterie gefunden haben, hat sehr wahrscheinlich ein winziger, unbekannter Webfehler in der Symmetrie zwischen Antimaterie und Materie den gar nicht so kleinen Rest an Materie übrig gelassen, dem wir unsere Existenz verdanken. Nach einem sol-

chen Sprung im Spiegelbild der Antimaterie fahndet die Kern- und Teilchenphysik derzeit intensiv, auch am LHC.

Nicht weniger mysteriös und für unser Universum genauso bedeutend sind die Dunkle Materie und die Dunkle Energie. Auf beide sollte der LHC ebenfalls Hinweise bringen. Die Dunkle Materie wechselwirkt weder mit Licht noch mit der bekannten Materie, macht sich aber über die Gravitation bemerkbar. Nur mit ihrer Hilfe lassen sich die hohen Geschwindigkeiten von Sternen an den Rändern von Galaxien erklären – demnach muss es von ihr mehr als fünfmal so viel geben wie von der sichtbaren Materie. Die Gravitation der sichtbaren Materie alleine entwickelt dafür nicht genügend Beschleunigungskräfte. Ebenso schwer fassbar ist die Dunkle Energie, die das Universum nach heutigem Wissen beschleunigt aufbläht und rund drei Viertel der Energie im Universum ausmacht. Worum es sich dabei handeln könnte, ist bislang noch völlig schleierhaft.

Bei der Suche nach Erklärungen für die Asymmetrie zwischen Materie und Antimaterie oder nach der Natur von Dunkler Materie und Dunkler Energie gab es am LHC kaum Fortschritte. Von einer Krise der Teilchenphysik wird aber vor allem gemunkelt, weil die Experimente am Cern bisher bei der Lösung eines weiteren Problems der Physik nicht geholfen haben: Seit vielen Jahrzehnten versuchen schlaue Köpfe, die beiden Theoriesäulen der Physik, die Quantenmechanik und die allgemeine Relativitätstheorie, zu einer übergeordneten Theorie zu vereinigen. Dabei wollen Physiker auch die vier Grundkräfte, die das physikalische Geschehen in unserer Welt bestimmen, auf eine gemeinsame Kraft, wie es sie ihren heutigen Theorien zufolge beim Urknall gegeben haben muss, zurückführen.

Die Quantenmechanik und das auf ihr basierende Standardmodell der Teilchenphysik beschreiben nämlich aus-

schließlich den Mikrokosmos der Elementarteilchen und die drei Kräfte, die diesen regieren: starke und schwache Kernkraft sowie die elektromagnetische Kraft. Die Gravitation als vierte Kraft, die in das Regime der allgemeinen Relativitätstheorie fällt, ist hingegen um gewaltige 40 Größenordnungen schwächer; dieses massive Missverhältnis wird Hierarchieproblem genannt. Die Gravitation entfaltet ihre Wirkung erst über große Distanzen und dominiert damit alle Vorgänge im Kosmos, spielt aber in der Mikrowelt keine Rolle.

Beide Theorien für sich genommen sind durch Experimente extrem gut belegt. Im Bemühen, sie zu vereinigen, gibt es verschiedene Ansätze, und einige davon prognostizierten Entdeckun-

gen am LHC, die bislang ausgeblieben sind. Dazu zählen etwa schwarze Mini-löcher, aufgerollte Extradimensionen und Supersymmetrien.

MÜSSEN PHYSIKALISCHE THEORIEN NATÜRLICH SEIN?

Die Existenz der Phänomene haben manche Schulen der Stringtheorie berechnet – eines der Forschungsgebiete, die sich um eine funktionierende Quantengravitation bemühen. Demnach sei die Welt im Allerkleinsten aus fadenartigen Strings konstruiert, in denen weitere Dimensionen der Raumzeit aufgerollt sind. Die in Raumzeit-Wraps eingerollten Extradimensionen hätten nach einigen Vorhersagen groß genug sein müs-

sen, um sich am LHC zu zeigen. Danach hätten dort auch supersymmetrische (Susy-)Teilchen entstehen sollen, die zu einer supersymmetrischen Spiegelwelt gehören und mit der Stringtheorie-Variante der Superstrings verbunden sind. Da diese Vorhersagen fehlgingen, sehen manche Fachleute das Problem nicht bei den Experimenten am LHC, sondern bei den Theorien, die bestimmte Messergebnisse vorhergesagt haben.

Bei der Entwicklung neuer Theorien orientieren sich Wissenschaftler auch an Kriterien wie Symmetrie, Natürlichkeit und Eleganz der mathematischen Konstruktion. Ob sie sich damit veranlagt haben, fragt etwa Sabine Hossenfelder in ihrem Buch *Das hässliche Universum*. Die Wissenschaftlerin forscht

Suchmaschine für neue Teilchen: Der CMS-Detektor wiegt 14000 Tonnen und hat 75 Millionen individuelle Messkanäle, um Teilchen nachzuweisen. Gemeinsam mit dem Atlas-Detektor spürte er das Higgs-Boson auf, er sollte aber auch Susy-Teilchen nachweisen, was bislang nicht gelungen ist.

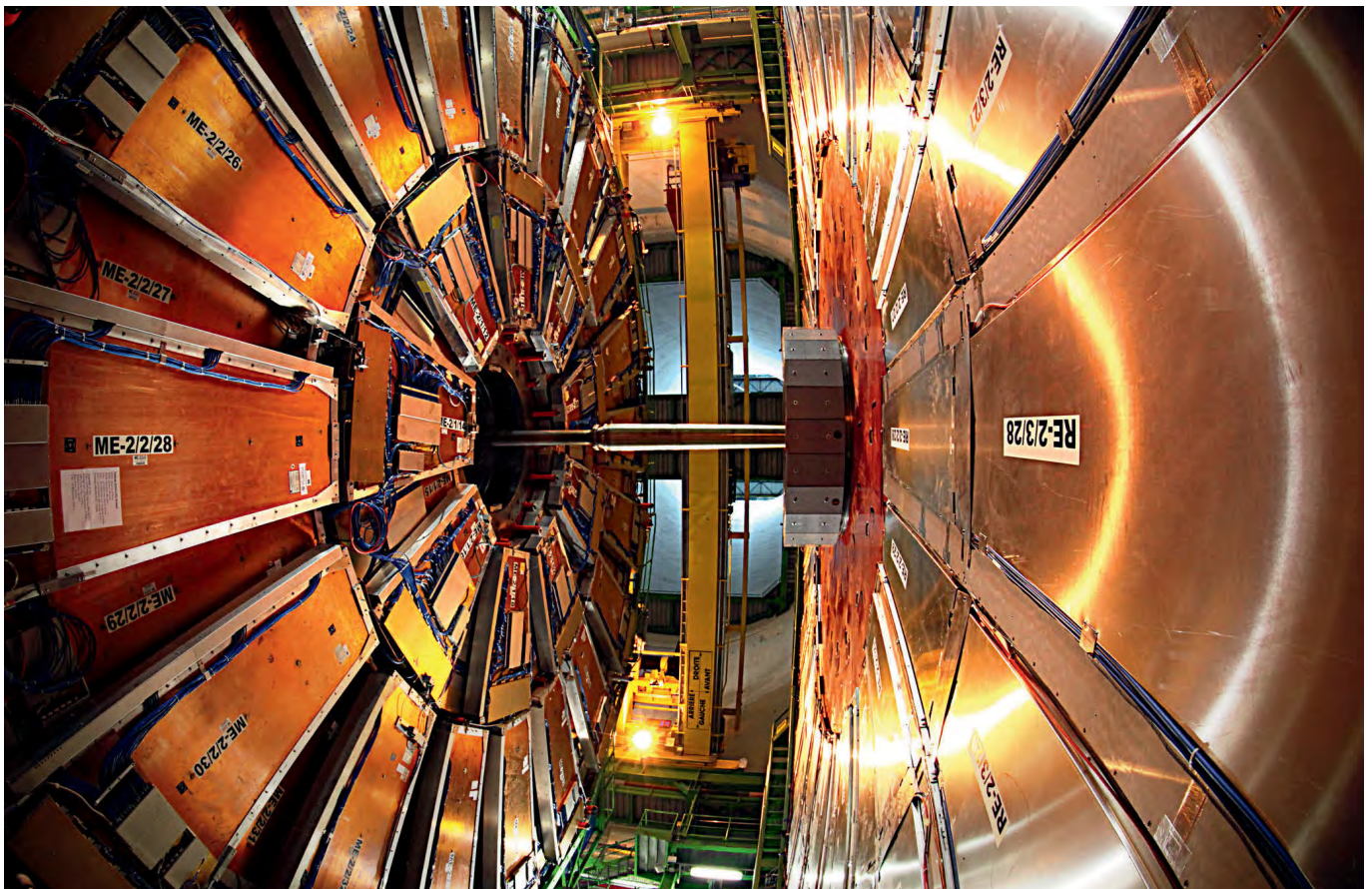


Foto: Michael Hoch/CERN

derzeit am Frankfurt Institute for Advanced Studies zur Quantengravitation.

Wenn sie ihre Skepsis etwa gegenüber der Natürlichkeit erklärt, beginnt sie mit der Frage, warum Theoretiker das Auftauchen von supersymmetrischen Teilchen oder aufgerollten Extradimensionen am LHC vorhergesagt haben. „Die Leute haben gedacht, das Standardmodell könne noch nicht vollständig sein“, sagt Sabine Hossenfelder: „Und der Grund ist, dass das Standardmodell nicht ‚natürlich‘ sein kann in dem Sinne des Wortes, wie es die Hochenergiephysiker benutzen.“

Seit den frühen 1990er-Jahren hat sich nach Hossenfelders Analyse in der theoretischen Teilchenphysik unreflektiert verfestigt, dass Theorien das abstrakte Kriterium der Natürlichkeit erfüllen müssen. Stark vereinfacht gesprochen, verlangt diese Bedingung, dass die Massen, aber auch andere Eigenschaften der Teilchen, die für die Quantengravitation relevant sind, nicht zu stark voneinander abweichen dürfen.

AN DER GRENZE DER PHYSIK FEHLEN ERFAHRUNGEN

So würden wir etwa „eine Millionen Kilometer hohe Sonnenblume für unnatürlich halten“, sagt die Physikerin. Hingegen ist für eine Sonnenblume eine Höhe in der Größenordnung von grob einem Meter natürlich; das lehrt uns unsere Erfahrung. „Im Standardmodell sind alle Zahlen ‚natürlich‘ auf diese Art und Weise“, erklärt Hossenfelder, „bis auf die Masse des Higgs-Bosons.“ Sie ist in der mathematischen Darstellung, mit der die theoretische Teilchenphysik arbeitet, um 15 Zehnerpotenzen zu klein und somit für viele Theoretiker unnatürlich.

Das Problem an diesem Begriff der Natürlichkeit ist laut Sabine Hossenfelder der Mangel an Erfahrung, wenn man sich auf Neuland der Physik wagt. Beim Anblick eines für uns neuen Sonnenblumenfelds lehrt uns die Erfahrung, dass es extrem große Blumen nicht geben kann. Doch an den Grenzen der heutigen Physik fehlen solche Erfahrungen. Nach Hossenfelder und

einigen anderen Theoretikern versagt daher Natürlichkeit als ästhetisches Kriterium – zumal die Mathematik, das Werkzeug der Theorie, keine logische Begründung für ein solches ästhetisches Kriterium liefert.

Als einem weiteren Leitstern in der Arbeit an neuen Theorien folgen Forscher dem Prinzip der Symmetrie, bislang mit großem Erfolg. In der uns sinnlich zugänglichen Welt tauchen Symmetrien immer wieder auf – ebenso wie kleine Abweichungen. Das belegen schon unsere beiden Gesichtshälften. In der Physik kommt man mit einer aus dem Alltag geprägten Bedeutung von Symmetrie oft nicht weit. So führten Symmetrieüberlegungen etwa den britischen Theoretiker Paul Dirac dazu, die Existenz von Antimaterie vorherzusagen.

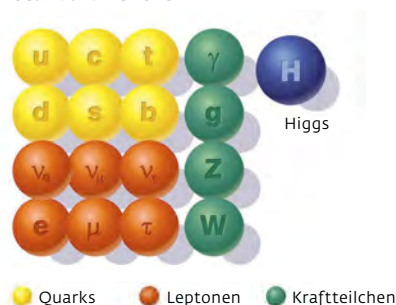
Auch bei der Symmetrie sieht Sabine Hossenfelder die Gefahr, dass ein Schönheitsbegriff, der sich aus den guten Erfahrungen damit durchgesetzt hat, in der Grundlagenphysik ebenfalls in die Irre führen könnte. „Vielleicht ist das Universum nicht so schön, wie es die Teilchenphysiker gerne hätten“, sagt sie.

Mit ihrer Kritik stößt Hossenfelder in der Teilchenphysik auf unterschiedliche Resonanz. Manche halten sie für destruktiv, andere reagieren positiv. Entsprechend umstritten sind Mutmaßungen über eine Krise der Teilchenphysik.

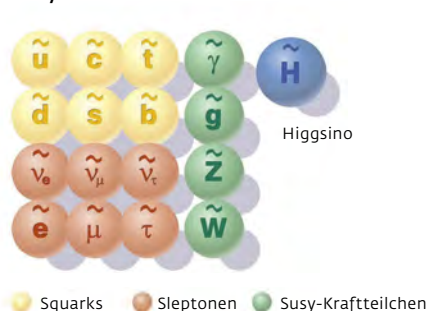
„Eine Krise sehe ich überhaupt nicht, diese Einschätzung betrifft nur ganz bestimmte theoretische Ansätze“, sagt Hermann Nicolai, Direktor am Max-Planck-Institut für Gravitationsphysik in Potsdam. „Zum einen ist das Cern-Experiment ein voller Erfolg, weil es das Standardmodell noch einmal hervorragend bestätigt. Zum anderen sollen solche Experimente ja gerade aus dem Wildwuchs an Theorien alle falschen Ansätze ausschneiden, und auch das hat der LHC geleistet.“

Nicolai selbst hat nie an Susy-Teilchen geglaubt, obwohl er mit der Entwicklungsgeschichte der Supersymmetrie bestens vertraut ist. Er hat bei Julius Wess, einem der Pioniere dieses Forschungsfelds, promoviert. Hermann Nicolai erklärt, Hauptmotivation für die

Standard-Teilchen



Susy-Teilchen



Vorgespiegelte Symmetrie: Susy-Teilchen sollten manchen Theorien zufolge den Zoo der Standard-Elementarteilchen ergänzen. Da sie in Experimenten bislang nicht gefunden wurden, halten immer mehr Physiker sie für Illusion.

Supersymmetrie sei ursprünglich gewesen, dass sie innere Symmetrien der Teilchenphysik mit Symmetrien der Raumzeit zusammenführen sollte. Damit sollte ein Schritt hin zur Vereinigung der allgemeinen Relativitätstheorie mit der Quantenmechanik zur Quantengravitation gelingen.

„Gerade das ursprüngliche Motiv einer Zusammenführung von Symmetrien beider großer Theorien leisteten aber jene neueren Theorien nicht, die eine Entdeckung von Susy-Teilchen am LHC vorhergesagt haben“, sagt Nicolai. Es sei schnell klar gewesen, dass eine solche naive Anwendung der Supersymmetrie im Widerspruch zu den Beobachtungen stehen würde.

„Erst Anfang der 1980er-Jahre kam die Idee auf, dass die Supersymmetrie das Hierarchieproblem lösen sollte“, so Nicolai. Dieses theoretische Konstrukt sollte also die Erklärungslücke schließen, die sich unter anderem aus dem riesigen Größenunterschied zwischen der Gravitation und den drei anderen Grundkräften ergibt. „Aber der Preis war hoch.“ Denn diese einfachste Va-



Szenario künftiger Kollisionsexperimente: Beschleuniger, in denen Teilchen wie hier am Cern auf einer Plasmawelle reiten, könnten viel höhere Energien erreichen als herkömmliche Geräte derselben Größe. Das dürfte neue physikalische Einblicke ermöglichen.

riante der Supersymmetrie verlangt zu jedem Elementarteilchen des Standardmodells einen supersymmetrischen Partner mit nahezu identischen Eigenschaften.

„Wenn diese Idee gestimmt hätte, dann hätte man schon am LEP-Beschleuniger Anzeichen dafür sehen müssen“, sagt der Max-Planck-Wissenschaftler. Der Large Electron-Positron Collider (LEP) war der Vorgänger des LHC im Genfer Ringtunnel. „Die Wahrheit ist wohl ganz schlicht und einfach, dass da nicht viel mehr ist als das Standardmodell.“

Nicolai betont allerdings, dass die Supersymmetrie und die darüber hinausgehenden Ansätze durchaus nicht am Ende sind, auch wenn es möglicherweise keine Susy-Teilchen gibt. Generell bleibt Hermann Nicolai überzeugt davon, dass Symmetrieprinzipien ein wesentlicher Faktor sind, wenn es um die Entwicklung einer Quantengravitation und deren Vereinigung mit dem Standardmodell geht. Die gegenwärtige Situation zeige nur, „dass die Natur weit aus raffinierter ist, als sich das viele prominente Kollegen gedacht haben“. Und der Forscher betont: „Deshalb sehe ich in den LHC-Ergebnissen vor allem eine große Herausforderung für die Theorie: nämlich das Standardmodell – so wie es ist – aus einem fundamentalen Ansatz abzuleiten.“

Ob die Theorie der Teilchenphysik kriselt, ist offensichtlich eine Frage der Perspektive. Manche Schulen stehen

tatsächlich vor den Trümmern jahrzehntelanger Arbeit, andere sind nicht betroffen. Wie aber schätzen Experimentalphysiker die Lage ein? Sie testen die Vorhersagen aus der Theorie. Ein solcher Experimentator ist Siegfried Bethke, Direktor am Max-Planck-Institut für Physik in München.

ERHOFFTE FINGERZEIGE AUF DIE DUNKLE MATERIE

Bethke hat mit seiner Gruppe den Atlas-Detektor, eines der beiden großen Experimente, die am LHC das Higgs aufspüren, von der Max-Planck-Seite aus federführend mitentworfen und aufgebaut. Als deutscher wissenschaftlicher Delegierter im Cern Council, dem Forschungsrat des Cern, arbeitet er gerade an der Aktualisierung der europäischen Strategie in der Teilchenphysik mit.

„Die Teilchenphysik ist nicht in einer Krise – obwohl es nicht einfach ist, jetzt die Zukunft zu planen“, sagt auch Siegfried Bethke. Selbst wenn derzeit Vorgaben aus der Theorie fehlten, gebe es für die Experimentalphysik viel zu tun. Vor allem seien viele Eigenschaften des Higgs-Bosons noch unbekannt. Da es sich um ein zentrales Teilchen im Standardmodell handelt, wollen Teilchenphysiker es genau vermessen. Außerdem erhoffen sie sich von der Analyse des Higgs-Teilchens Fingerzeige, wo und wie sie weiter nach der Dunklen Materie suchen können.

Denn die Dunkle Materie macht sich bisher nur durch ihre Gravitation bemerkbar, die mit dem Higgs-Boson verbunden ist.

Allerdings eignet sich der LHC für genaue Untersuchungen des Higgs-Teilchens nicht so gut, weil er es zu selten erzeugt. Der LHC war sozusagen die Suchmaschine, um es überhaupt zu finden. Deshalb diskutiert die Teilchenphysik kleinere, spezialisierte Beschleuniger, die das Higgs-Teilchen in hohen Raten erzeugen, um es effizient analysieren zu können. Eine solche „Higgs-Fabrik“ soll der International Linear Collider (ILC) sein, der seit Jahren in Japan geplant wird. Doch ob dieses Projekt verwirklicht wird, ist offen.

Der ILC wäre auch technisch ein konventioneller Beschleuniger. Siegfried Bethke plädiert für eine unkonventionelle Alternative, die derzeit am Cern unter dem Schlagwort CLIC (Compact Linear Collider) entwickelt wird. CLIC würde in Genf zwar einen neuen, geraden Tunnel erfordern. Da er aber höhere Energie als der ILC erreichen könnte, würde er auch die Untersuchung des 1995 entdeckten Top-Quarks erlauben – der letzten erfolgreichen Teilchenvorhersage von 1977. Dieses Quark ist so schwer wie ein Goldatom, es existierte nur kurz nach dem Urknall und lässt sich heute im Teilchenbeschleuniger erzeugen.

CLIC böte damit einen tiefen Einblick in die Physik des heißen, kompakten Babyuniversums. Und in der fernen Zukunft könnte in dem CLIC-Tunnel eine revolutionäre Beschleunigertechnik eingebaut werden, die derzeit unter dem Schlagwort AWAKE am Cern untersucht wird. Diese könnte wesentlich höhere Energien erreichen und damit noch kleinere Strukturen in der Welt der Elementarteilchen ausleuchten.

Ob solche Beschleuniger die Tür zu neuer Physik aufstoßen werden, lässt sich nicht vorhersagen – wie so oft in der Grundlagenforschung. Doch in der Physik sind große Entdeckungen selten planbar. Das ist nicht anders als bei Christoph Kolumbus, der einen Seeweg nach Indien suchte, unterwegs fast an einer Meuterei scheiterte und schließlich Amerika entdeckte. ◀

AUF DEN PUNKT GEBRACHT

- Die Experimente am Large Hadron Collider haben zum Nachweis des Higgs-Teilchens geführt; andere vorhergesagte Entdeckungen wie etwa die supersymmetrischer Teilchen blieben aber aus.
- Da sich manche Vorhersagen der theoretischen Teilchenphysik nicht erfüllten, fordern einige Theoretiker, nicht länger auf sämtlichen bisherigen Leitlinien der Theorieentwicklung zu beharren. Sie stellen etwa Natürlichkeit, Eleganz der mathematischen Konstruktion und Symmetrie als Kriterien infrage.
- Doch gerade die Symmetrie sehen viele Theoretiker, darunter auch Max-Planck-Wissenschaftler Hermann Nicolai, als wichtige Leitlinie für die Entwicklung neuer Theorien an. Dazu zählt vor allem die Suche nach einer Theorie, welche die allgemeine Relativitätstheorie und die Quantenmechanik zu einer Quantengravitation vereinigt.
- Ungeachtet der theoretischen Neuorientierung sehen experimentelle Teilchenphysiker die Möglichkeit, mit Teilchenbeschleunigern zahlreiche Forschungsfragen zu beantworten. So wollen sie die Eigenschaften des Higgs-Teilchens genau vermessen und erhoffen sich davon auch Hinweise auf die Dunkle Materie.

GLOSSAR

Hierarchieproblem nennen Physiker den extremen Unterschied in der Größe der starken und schwachen Kernkraft sowie der elektromagnetischen Kraft einerseits und der viel schwächeren Gravitation andererseits. Das gilt auch für den Sprung von den Elementarteilchen hinunter zur extrem kleinen „Planck-Skala“, die ein fundamentales Bezugssystem der Physik darstellt. Auf dieser Skala lassen sich die vier Grundkräfte möglicherweise vereinigen.

Natürlichkeit ist bislang eine Leitlinie für die theoretische Teilchenphysik in der Entwicklung neuer Theorien. Kritiker betrachten sie als Irrweg.

Standardmodell der Teilchenphysik: Es beschreibt die Vorgänge in der Mikrowelt und umfasst die Elementarteilchen, aus denen Materie aufgebaut ist, die Kräfte zwischen diesen Teilchen sowie dem Higgs-Mechanismus und dessen Higgs-Teilchen. Dieses Standardmodell folgt den Gesetzen der Quantenmechanik.

Symmetrie spielt in der Physik eine große Rolle. Ein Beispiel sind die Eigenschaften von Antimaterie, die spiegelbildlich zur Materie sind. Der britische Theoretiker Paul Dirac hat so deren Existenz vorhergesagt. Die theoretische Physik nutzt aber auch viele abstrakte, mathematische Symmetrien.

Wissenschaft in einer Sprache, die jeder versteht.

Das Nationale Institut für Wissenschaftskommunikation (NaWik) bietet praxisnahe Seminare für gute **Wissenschaftskommunikation** an.

Die Seminare können von wissenschaftlichen Einrichtungen, Arbeitsgruppen oder Graduiertenschulen gebucht und **vor Ort realisiert** werden.

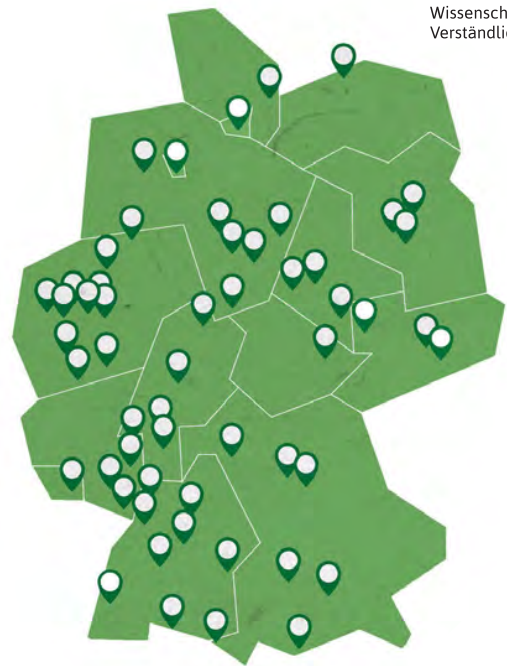
Das Portfolio an zwölf Seminartypen reicht von **Schreibseminaren** über **Social-Media-Kurse** bis hin zu **Präsentations- oder Medientrainings**.

Alle Seminare werden **evaluiert**.

Weitere Angebote und das gesamte Seminarportfolio sind auf www.nawik.de zu finden.

NaWik

Wissenschaft.
Verständlich.



Veranstaltungsorte, Stand 2019

Der digitale Sprachkünstler

Er bezeichnet sich selbst als ein bisschen unkonventionell. Tatsächlich arbeitet **Derek Dreyer** mit Sprachen – aber nicht mit den Sprachen des Alltags, sondern mit Programmiersprachen, weil sie logischer sind. Der gebürtige Amerikaner forscht am **Max-Planck-Institut für Softwaresysteme** in Saarbrücken. Auch wenn die Wissenschaft ein wichtiger Teil seines Lebens ist, gibt es daneben Platz für Leidenschaften wie die Musik. Und dann ist da noch die Sache mit dem Whisky – unkonventionell eben.

TEXT **KLAUS JACOB**

Manche Büros sind so unpersönlich wie der Ausstellungsraum eines Möbelhauses. In anderen kann man lesen wie in einem Buch. Sie verraten viel über den Menschen, der darin arbeitet. So ein Büro hat Derek Dreyer. Eine Stirnseite wird von einer Tafel dominiert, auf der kryptische Gleichungen stehen, mit denen nur Insider etwas anfangen können. Daneben zwei Kinderzeichnungen, die Dereks Tochter gemalt hat. Sie ist vier Jahre alt. „Nein, viereinhalb“, verbessert sich Dreyer. Bei kleinen Kindern zählt jeder Monat.

Die andere Stirnseite füllt ein Regal komplett aus. Anstatt Büchern reiht sich hier ein Whisky an den anderen – aber keine Flaschen, sondern lediglich die Papphüllen. Dreyer ist ein großer Whisky-Fan und kennt fast jede Sorte, aber es muss schon Scotch sein, kein Bourbon.

Das Büro wirkt offen und gemütlich, hell und geräumig. Mittendrin

steht ein bequemes Sofa, auf dem man herrlich lümmeln kann. Die beiden Längsseiten sind völlig verglast. Eine dieser Fensterfronten gibt den Blick frei auf die bewaldeten Berghänge von Saarbrücken, die andere geht auf den Flur. So hat Dreyer zwar ein Büro für sich allein, doch durch die transparenten Wände auch der anderen Räume verbinden sich die Einzelzimmer fast zu einem Großraumbüro.

LOGIK UND MATHEMATIK – DA MACHT IHM KEINER WAS VOR

Und das passt zu Dreyer. Er ist so offen und freundlich wie das Gebäude, scheut vor keiner Frage zurück, lacht gerne und geht auf die Menschen zu. Auf seiner Homepage schreibt er, man könne ihn jetzt „Herr Professor Doktor Derek Dreyer“ nennen, weil er eine Honorarprofessur an der Universität Saarland angetreten habe. Aber lieber solle man ihn einfach „DD“ nennen, wie es seine Tochter Alma tue.

Derek Dreyer ist Informatiker am Max-Planck-Institut für Softwaresysteme, wo er zu Programmiersprachen forscht. Er ist Mitglied der Institutsleitung und Chef der unabhängigen Gruppe „Grundlagen der Programmierung“, wobei ihn zwei Postdocs und sechs Doktoranden unterstützen.

Was Logik und Mathematik angeht, kann ihm niemand etwas vormachen. Gesprochene Sprachen sind dagegen nicht seine Stärke. Obwohl der gebürtige US-Amerikaner schon elf Jahre in Deutschland lebt, muss man sich mit ihm auf Englisch unterhalten. Das liegt nicht zuletzt daran, dass am Institut Englisch die Umgangssprache ist, weil die meisten Forscher aus dem Ausland kommen. Und seine Frau ist ebenfalls US-Amerikanerin, beherrscht Deutsch allerdings deutlich besser. „Es ist sehr peinlich“, sagt Dreyer schmunzelnd auf

Potemkinsche Kollektion: Derek Dreyer sammelt ausgefallene Whiskysorten, im Büro stellt er aber nur die leeren Kartons auf.





Ist doch logisch: Dreyer weist nach, dass manche Komponenten etwa der Programmiersprache Rust keine strenge Sicherheitsschleuse benötigen.

Deutsch, mit deutlichem Akzent. Wenn bei ihm zu Hause etwas zu erledigen sei, bei dem man Deutsch sprechen müsse, springe seine Frau ein.

Die deutsche Sprache zu lernen, sei zu mühsam, sagt der Forscher. Dahinter steckt sicher ein wenig Koketterie, denn er beherrscht die Sprache besser, als er behauptet. Immerhin räumt er ein, dass er die korrekten Vokabeln für jedes Lebensmittel kennt, denn gutes Essen bedeute ihm viel, ob japanisch oder thailändisch, französisch oder italienisch.

Auf Dienstreisen sucht er gerne nach einem guten Restaurant und lädt ein paar Freunde und Bekannte ein. „Man kann mir irgendein Lebensmittel geben, und ich kenne das deutsche Wort“, erzählt er. Allerdings fallen ihm das Hören und Verstehen leichter als das Sprechen. Wenn er seiner Tochter etwas auf Deutsch sage, lache sie ihn aus. Denn die Tochter lernt die fremde Sprache kinderleicht in der Kita.

Ganz anders sieht es aus, wenn es um Mathematik geht. Hier fällt Dreyer vieles ohne Anstrengung zu. Er ist ein Überflieger. Schon in der Schule hatte er auf Wunsch der Eltern mehrere Klassen übersprungen, weil er sich gelangweilt hatte. Sein Studium an der Uni begann er mit 13 Jahren anstatt mit 18, wie es üblich wäre. Mit 17 wechselte er bereits an die Carnegie Mellon University, die Topadresse für Informatik. Auch hier war er seinen Kommilitonen um fünf Jahre voraus.

INFORMATIK WAR DREYER NICHT IN DIE WIEGE GELEGT

Im Programm für die PhD-Studenten stockte Dreyers Durchmarsch auf dem Bildungsweg dann jedoch: „Da hatte ich am Anfang eine harte Zeit“, sagt er. Weil er sein wissenschaftliches Projekt in den ersten Jahren ziemlich orientierungslos anging und kaum Fortschritte machte, wäre er im Jahr 2000 beinahe

von der Uni geflogen. Doch er biss sich durch, veröffentlichte bald erste wissenschaftliche Arbeiten und promovierte schließlich 2005.

Geboren wurde Derek Dreyer 1980 in New York City, zog aber schon bald mit seinen Eltern in den Speckgürtel der Metropole, nach Great Neck auf Long Island. Es ist der Teil New Yorks, den der Autor F. Scott Fitzgerald mit seinem Roman *Der große Gatsby* weltbekannt gemacht hat, wie Dreyer gerne erzählt. Er war das Nesthäkchen, viel jünger als seine drei Geschwister, zwei Brüder und eine Schwester.

Sein Vater arbeitete zunächst als Kinderarzt an der New Yorker Universitätsklinik und machte später als Funktionär Karriere. Er wurde Präsident der Amerikanischen Akademie für Kinderheilkunde, des größten Verbandes. „Er ist sehr erfolgreich“, sagt Dreyer über ihn, „und eine große Inspiration für mich.“ Die Mutter blieb zu Hause und kümmerte sich um Kinder und Haus-

» Er ist Grundlagenforscher. Seine Beweisführungen sind allgemeingültig und helfen, die Programmiersprachen der Zukunft zu gestalten.

halt. Die Informatik war Dreyer also nicht in die Wiege gelegt.

Aber schon in der Schule liebte er die Mathematik und wollte dieses Fach unbedingt studieren. Doch die pragmatischen Eltern rieten ihm, sich auch noch für Informatik einzuschreiben, weil er damit leichter einen Job bekomme. So studierte Dreyer zunächst zweigleisig, Mathematik und Informatik, wandte sich aber später ganz der Informatik zu. Inzwischen ist er froh, dass er dem elterlichen Rat gefolgt ist. Denn bei der Mathematik fehlen ihm die Anwendungen. Er mag die Verbindung von Theorie und Praxis, wie er sie nun täglich findet.

Derek Dreyer glänzte nicht nur in den Disziplinen, in denen es um reine Logik geht. Er entwickelte auch musische Qualitäten. Vor allem das Singen macht ihm Spaß. Schon mit 12, 13 Jahren sang er im Chor der New York City Opera, übernahm sogar einige Soloparts. In Chicago – inzwischen war seine Stimme zum Tenor gereift – unterstützte er den Kirchenchor. Und noch heute bedeutet ihm die Musik viel, vor allem Klassik und Jazz. „Meine liebsten Komponisten sind Bach, Britten und Schostakowitsch“, sagt er. „Ich bin stolz darauf, dass ich mir in diesem Jahr die dritte Cello-Suite von Benjamin Britten erschlossen habe. Keine einfache Musik: Ich musste sie etwa 20-mal hören, jetzt finde ich sie aber unglaublich schön.“

Ein Instrument hat Dreyer allerdings nie gelernt. „Das ist wie die deutsche Sprache“, sagt er schmunzelnd, „man muss zu viele langweilige Stücke spielen, ehe man das Instrument beherrscht.“ Vielleicht liegt es ja an sei-

nem Perfektionismus, dass er sich davor scheut, Dinge anzupacken, die ihm nicht auf Anhieb gelingen. Zum Singen ist er in den vergangenen Jahren nicht mehr gekommen, aber er stept gerne, wenn auch nicht bei öffentlichen Auftritten. Um zu zeigen, wie das geht, springt er kurzerhand auf und macht ein paar Schritte. Es sieht ziemlich professionell aus...

EINE GROSSE CHANCE IN DEUTSCHLAND

Nach dem Studium und der Promotion an der Carnegie Mellon University trat Dreyer zunächst in Chicago eine befristete Stelle am Toyota Technological Institute an. Die Einrichtung hat nichts mit Autos zu tun, sondern betreibt unabhängige Grundlagenforschung. „Sie ist wie Mini-Max-Planck“, sagt Dreyer. Er war Research Assistant Professor, eine Art Postdoc.

Nach drei Jahren, als die Stelle auslief, bewarb er sich international. Denn er hatte sich inzwischen auf Programmiersprachen spezialisiert – ein Fachgebiet, das wenig nachgefragt war. Die Community, die sich damit beschäftigt, ist zwar in den vergangenen Jahren stark gewachsen, aber noch immer überschaubar. Da kam ein Angebot aus Deutschland wie gerufen.

Er musste nicht lange nachdenken, um die Tenure-Track-Stelle am Max-Planck-Institut für Softwaresysteme anzunehmen, da sie ihm bei entsprechendem wissenschaftlichem Erfolg eine langfristige Perspektive bot. Denn Max-Planck hat auch in den Vereinigten Staaten einen hervorragenden Ruf.

Dreyer greift zu seinem Smartphone und zeigt ein weltweites Ranking aller Institute, die sich mit Informatik und Computersprachen beschäftigen. Das Max-Planck-Institut rangiert ganz weit vorne. „Es war eine große Chance“, sagt er, zumal er sich am Aufbau des Instituts beteiligen konnte. Im Jahr 2008 trat er die zunächst befristete Stelle an, dann, fünf Jahre später, bekam er nach einer internationalen Evaluierung eine unbefristete Stelle mit voller wissenschaftlicher Freiheit.

Wenn man ihn fragt, ob der Wechsel von New York und Chicago nach Saarbrücken ein Kulturschock war, gibt er eine höfliche Antwort: Max-Planck sei „great“ und er arbeite viel, da spiele die Umgebung keine so große Rolle. „Wichtig ist für mich, dass ich fantastische Studenten und Kollegen habe, und Saarbrücken ist ein friedlicher Ort, ein guter Platz zum Arbeiten.“ Abwechslung finde er auf Reisen, auch beruflich komme er viel herum, sogar in Weltstädte wie Paris oder London. Bleibt Deutschland also seine zweite Heimat? In naher Zukunft werde er auf jeden Fall in Deutschland bleiben, sagt er.

Wie es danach weitergeht, wisse er noch nicht. Er habe schon andere Optionen erwogen, aber nichts komme an seine Stelle am Max-Planck-Institut heran. Hier könne er forschen, worüber er wolle, habe ein tolles Team und eine hervorragende Ausstattung. Auch die Kombination von Forschung und Lehre findet er in Saarbrücken ideal. „Außerdem“, sagt er, „hat meine Frau Rose Hoberman einen guten Job am Institut, in dem sie unseren Doktoranden bringt, verständliche Papers zu schrei-

ben und packende Vorträge zu halten. Und ihr Büro ist zwei Türen entfernt von meinem – besser könnte es nicht sein!“

Und einen Nachteil, mit dem er sich herumschlagen muss, würde er auch anderswo nicht los: Die Freundschaften, die er und seine Frau eingehen, halten meist nicht lange: Die meisten Freunde kommen aus dem Institut, Studenten oder Postdocs, und sind nach ein paar Jahren wieder fort. Der Wissenschaftsbetrieb verschlägt sie in alle Welt.

Womit sich Dreyer beschäftigt, ist für Laien ebenso unverständlich, wie es die Formeln an seiner Tafel sind. Ironischerweise geht es um Sprachen, die er eigentlich nicht besonders mag. Doch Programmiersprachen fallen in eine andere Kategorie als Deutsch oder Japanisch, denn sie sind absolut logisch strukturiert.

RUST SOLL UNIVERSELL EINSETZBAR UND SICHER SEIN

Derek Dreyer kümmert sich derzeit vor allem um die relativ junge Sprache Rust, mit der sich komplexe Programme schreiben lassen. Für dieses Fünfjahresprojekt namens RustBelt erhielt er vom Europäischen Forschungsrat (ERC) 2016 den Förderpreis Consolidator Grant über zwei Millionen Euro.

Die Programmiersprache Rust entwickelte Graydon Hoare, ein Angestellter der Softwareschmiede Mozilla – bekannt vor allem für den Webbrowser Firefox –, zunächst allein und in seiner Freizeit. Seit 2009 fördert Mozilla die Entwicklung von Rust, und 2015 wurde die Version 1.0 herausgegeben, zusammen mit dem zugehörigen Compiler, der die Befehle in Maschinensprache übersetzt.

Inzwischen wird Rust vielfach verwendet, etwa von Google, Microsoft,

Facebook oder Dropbox. Sie soll die Schwächen herkömmlicher Sprachen beheben. Denn bisher ist eine Sprache entweder sicher, das heißt, sie überprüft automatisch die Arbeit des Programmierers auf formale Fehler. Oder sie ist komfortabel, lässt dem Programmierer also alle Freiheiten – auch die Freiheit, Fehler zu machen.

Aber ein Fehler in einem komplexen Programm, der sich erst bei ersten Testläufen zeigt, ist ausgesprochen lästig. Die Suche kann einen Programmierer zur Verzweiflung bringen. Rust soll den Spagat schaffen, universell einsetzbar und zugleich sicher zu sein. Um zu verstehen, wie das gelingen kann, muss man etwas tiefer in die Materie einsteigen.

Letztlich verfügt jede Programmiersprache über einen Kontrollmechanismus. Allerdings ist diese Instanz unterschiedlich streng. Je schärfer die Kontrollen, desto mehr schränken sie die Freiheit beim Programmieren ein. Denn der elektronische Türsteher wertet manchmal auch etwas als Fehler, was durchaus sinnvoll ist, und zeigt dem Programmierer die rote Karte. Java gehört in die Kategorie mit strengen Kontrollen. Die Sprachen C und C++ sind gewissermaßen die Gegenstücke.

Die verwendeten Kontrollmechanismen sind weit mehr als ein Rechtsschreibprogramm, wie es Autoren verwenden. Ein Beispiel zeigt, wie sie funktionieren: Jede Sprache benutzt Zeiger, die auf bestimmte Daten im Speicher zugreifen. Das klingt recht simpel. Doch komplexe Programme brauchen viele Zeiger und viele Speicherplätze. Da kann der Programmierer leicht den Überblick verlieren, sodass der verwendete Zeiger möglicherweise einen Speicher abrufte, der Unsinn enthält.

Rust verfügt über einige Mechanismen, um das zu verhindern. So hat jeder Zeiger nur eine begrenzte Lebensdauer, das heißt, er ist nur in einem definierten Programmabschnitt aktiv und wird danach, wenn die zugehörigen Daten überholt sind, automatisch ausgeschaltet. Außerdem können niemals zwei Zeiger gleichzeitig Änderungen am selben Speicherplatz vornehmen. Solch eine Dopplung ist eine häufige Fehlerquelle, weil die Daten im Speicher mit jeder Aktion verändert werden können, was bei einem simultanen Zugriff eventuell zu Konfusion führt.

SICHERHEIT OHNE DIGITALEN TÜRSTEHER

Doch die eingebauten Sicherheiten haben einen Nachteil: Manche Aktionen lassen sich nicht ausführen. So ist etwa beim Erstellen komplexer Datenstrukturen der gleichzeitige Zugriff auf denselben Speicherplatz nötig. Um trotzdem universell einsetzbar zu bleiben, enthält die Sprache Rust die Möglichkeit des „Unsafe-Mechanismus“: Der Programmierer kann festlegen, dass bestimmte Programmkomponenten nicht die strenge Sicherheitschleuse passieren müssen. Wer diese Variante nutzt, läuft natürlich Gefahr, dass sich – wie bei C oder C++ – Fehler einschleichen.

An dieser Stelle beginnt die Arbeit von Dreyer und seinem Team. Er weist nach, dass typische „Unsafe-Komponenten“ sicher sind, sodass man sie getrost nutzen kann, auch ohne Türsteher. Er verwendet dabei halbautomatische Beweisassistenten, seine Beweise werden also automatisch vom Computer überprüft. Letztlich beschäftigt sich der Wissenschaftler mit seiner



Musik und Tanz: Neben der Mathematik begeistert sich Dreyer für Musik, vor allem klassische. Er hat früher sogar in der New York City Opera gesungen. Steptanz praktiziert er allerdings nur privat.

favorisierten Kombination aus Mathematik und Informatik.

Allerdings wäre es falsch zu behaupten, Dreyer gehe es lediglich um die junge Programmiersprache Rust. Er ist Grundlagenforscher. Seine Beweisführungen sind allgemeingültig und helfen, die Programmiersprachen der Zukunft zu gestalten. Rust ist für ihn lediglich ein konkreter Anwendungsfall, wobei er sich hier vor allem mit den kompliziertesten „Unsafe-Komponenten“ beschäftigt.

Der ERC-Consolidator-Grant, den er für dieses Projekt erhielt, ist ein Preis, auf den er besonders stolz ist. Ein anderer ist der Robin Milner Young Researcher Award der ACM SIGPLAN, der Vereinigung der Fachverbände für Programmiersprachen; er ist der international renommierteste Preis für junge Wissenschaftler auf dem Gebiet der Programmiersprachen.

Andere Auszeichnungen, die er etwa für herausragende Veröffentlichungen erhielt, tut er mit einer Handbewegung ab. Wie Nippes stehen sie im Regal vor den Whiskykartons. Sie haben weder einen Ehrenplatz, noch sind sie großspurig in Szene gesetzt. Die Reihe der

Schachteln außergewöhnlicher Whiskysorten springt jedenfalls viel mehr ins Auge. Neben dem Genuss dieser Spirituosen, besonderem Essen und vor allem der Musik, widmet er sich auch gern guten Weinen und ist dazu sogar einem Weinclub beigetreten. „Das ist mein Weg, mit Deutschen in Kontakt zu kommen“, sagt er lächelnd.

DAS GELOBTE LAND FÜR DEN SCOTCH-ENTHUSIASTEN

In dem Club haben sich ausgewiesene Weinkenner zusammengetan. Alle drei bis vier Wochen treffen sich etwa ein Dutzend Männer und Frauen, alles Deutsche – bis auf Dreyer. Man lädt sich gegenseitig nach Hause ein und kredenzt Wein aus dem eigenen Keller. Die Weinproben arten keineswegs in Besäufnisse aus, die Fachleute spucken die Proben nach dem Verkosten wieder aus. Das sei „part of the deal“, sagt Dreyer.

Der Scotch-Kenner verfügt über die nötige sensible Zunge, um feine Nuancen zu unterscheiden: „Jeder Jahrgang ist völlig anders“, sagt er. Dennoch hat er ein Handicap: Weinkenner benutzen

ein breites Vokabular, um die Geschmacksrichtungen der verschiedenen Lagen und Jahrgänge zu beschreiben. Da kommt der US-Amerikaner nicht mit: „Ich möchte etwas Interessantes sagen, aber mein beschränkter Wortschatz lässt nur Langweiliges zu.“ So hört er meistens zu. Einmal wurde trotzdem er zum Wortführer: Er führte die Runde durch eine Verkostung von vier unkonventionellen Whiskys: Clynelish, Ben Nevis, Springbank und Ledaig – „unkonventionell, ein bisschen wie ich“.

Für den Scotch-Enthusiasten Dreyer ist Deutschland das Gelobte Land. In den USA ist Scotch Whisky nicht nur wesentlich teurer, sondern oft auch gar nicht zu bekommen. Hierzulande stehen die Regale voll davon. Manchmal fährt Dreyer aber auch nach Schottland, um direkt bei den Destillieren zu kaufen. Ob er eine Lieblingssorte hat? Er überlegt eine Weile, dann greift er zu einem Black & White Blend aus den 1960er-Jahren. „Hervorragende Qualität und mit 100 Euro sehr billig“ – ein Schnäppchen. Er habe ihn gestern gekauft, es sei derzeit sein Favorit. Morgen ist es vielleicht ein anderer. ◀

Brandwunden im Regenwald

In diesem Sommer gab es in Brasilien so viele Waldbrände wie kaum jemals zuvor. Welche Konsequenzen die immensen Verluste an Regenwald für das lokale, aber auch das globale Klima haben, ergründet

Susan Trumbore, Direktorin am **Max-Planck-Institut für Biogeochemie** in Jena. Zudem untersucht sie, welche Chancen ein Wald hat, sich von einem Brand zu erholen. Wenn man ihn denn lässt.

TEXT **TIM SCHRÖDER**

In Brasilien brennt der Regenwald, schon seit Jahrzehnten, immer wieder. Vielerorts sind es Landwirte, die den Wald in Brand stecken, andernorts lassen Rinderbarone andere für sich roden. Ihr Ziel sind neue Ackerflächen, um dort Soja anzubauen, vor allem für die Tiermast in Brasilien und anderen Ländern. Auf vielen gerodeten Flächen grasen auch Rinder. Zahlreiche Bauern brennen nach der Ernte zudem ihre Stoppelfelder ab, ohne Rücksicht darauf, dass die Funken Wälder in Brand stecken können.

Auch wenn schon seit Langem über Brandrodungen berichtet wird, gab es in diesem Sommer besonders erschreckende Bilder. Denn im August erreichten die Feuer katastrophale Ausmaße. Das brasilianische Institut für Weltraumforschung INPE zählte auf Satellitenaufnahmen der Region etwa zwei

Drittel mehr Feuer als in den Jahren zuvor zur selben Zeit – insgesamt mehr als 45 000 Brände.

Ernüchternd ist die Tatsache, dass die meisten dieser Feuer nicht etwa auf eine besonders starke Trockenheit zurückzuführen sind. Denn in vergangenen Jahren war die Dürre im Sommer noch größer. Vielmehr stecken wirtschaftliche Interessen dahinter: Die meisten Feuer brachen auf privatem Land und in der Nähe ländlicher Siedlungen aus. Die brasilianischen Experten gehen davon aus, dass hier verstärkt Wälder brandgerodet wurden. Besonders erschreckend: Die Feuer nahmen auch in öffentlichen Staatswäldern und selbst in Naturreservaten enorm zu.

Der Kahlschlag am Amazonas-Regenwald hat dramatische Folgen. Zahllose Pflanzen und Tiere verlieren ihren Lebensraum, und vermutlich werden

Brandmelder im All: Auf den Satellitenbildern des Nasa Earth Observatory sind die Feuer vor allem im Süden des Amazonasbeckens, aber auch in anderen Gegenden Südamerikas gut zu erkennen.



dabei auch bislang unbekannte Pflanzen- und Tierarten ausgerottet. Zudem dürfte sich der Waldverlust auf das Klima in weiten Teilen Südamerikas und vielleicht sogar global auswirken. Die Erdsystemforscherin Susan Trumbore, Direktorin am Max-Planck-Institut für Biogeochemie in Jena, möchte die Konsequenzen dieses Raubbaus an der Natur umfassend verstehen.

Sie untersucht nicht nur, wie sich die Artenvielfalt verändert hat, wenn sich die Wälder Jahre später langsam von einem Brand erholen. Sie stellt auch die Frage, wie viel verletzlicher der verbliebene Wald gegenüber erneuten Störungen wie Dürren oder Windwurf wird, wenn das Ackerland vorrückt. Zudem erforscht sie gemeinsam mit brasilianischen Forschern, wie sich die Zerstörung von Wäldern auf das regionale und das

globale Klima auswirkt, untersucht aber auch, wie der Wald auf den Klimawandel reagiert. „Bis heute mangelt es an Daten, um den Einfluss der Amazonasregion in Klimamodellen richtig abzubilden“, sagt Susan Trumbore. „Wir möchten dazu beitragen, die Klimamodelle in dieser Hinsicht zu verbessern.“

DAS KOHLENDIOXID DER BRÄNDE NIMMT DER WALD NOCH AUF

Für das lokale und regionale Klima ist vor allem wichtig, dass im Wald des Amazonasbeckens riesige Mengen an Wasser verdunsten, die den Wald und seine Umgebung kühlen und zur Hälfte vor Ort wieder als Regen fallen. Ein Teil der sich bildenden Wolken aber zieht weiter und versorgt so große Teile Südamerikas mit Niederschlägen.



Oben 15000 Einzelteile, 24000 Schrauben und Bolzen, ein Gesamtgewicht von 142 Tonnen auf einer Grundfläche von drei mal drei Metern, abgespannt mit 26 Kilometern Stahlseil – das Amazon Tall Tower Observatory (Atto).

Links Das Hochturmobservatorium steht 150 Kilometer nordöstlich der Stadt Manaus im bislang noch weitgehend unberührten zentralen Amazonasgebiet. Die Tanguro-Ranch befindet sich dagegen im Süden des Amazonasbeckens, wo der Regenwald in Savanne übergeht.





Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler sind sich zudem einig, dass die Amazonasregion aufgrund ihrer schieren Größe einen erheblichen Einfluss auf das globale Klima hat. Das Amazonasbecken, aus dem sich der Fluss Amazonas speist, ist rund sieben Millionen Quadratkilometer groß – das entspricht etwa der zwanzigfachen Fläche Deutschlands. Davon sind heute noch etwa 80 Prozent bewaldet. Diese Fläche hält heute noch immerhin etwa ein Drittel der Kohlenstoffmenge gespeichert, die zu Beginn der Industriellen Revolution in der Erdatmosphäre enthalten war.

Heute kann der Wald jene Mengen an Kohlendioxid, die durch Brandrodungen in Brasilien frei werden, noch aufnehmen. Dafür kann er aber kein Treibhausgas mehr aus der Atmosphäre filtern, das andernorts durch die Verfeuerung fossiler Brennstoffe entsteht. Und sollte sich die Vernichtung des Waldes, die nach 2003 zunächst zurückging, 2019 aber wieder zugenommen hat, weiter beschleunigen, könn-

ten in der Amazonasregion unter dem Strich sogar Treibhausgase frei werden.

Umgekehrt wird die Erderwärmung aber vermutlich auch den Wald und seine Fähigkeit, Treibhausgase zu binden, verändern. Wissenschaftler gehen davon aus, dass der Regenwald eine globale Temperaturerhöhung um mehr als zwei Grad nicht überleben wird. Denn heute gibt es bei entsprechend hohen Temperaturen nirgendwo auf der Welt einen Regenwald. Der Amazonaswald könnte also mit dem Klimawandel verschwinden. „Heute können wir noch überhaupt nicht abschätzen, was es bedeutet, wenn sich die Erde im Schnitt um zwei Grad Celsius oder mehr erwärmt“, sagt Susan Trumbore. „Wie verändern sich die Lebensräume, wie die chemischen und physikalischen Prozesse zwischen Wald und Atmosphäre, wie der Gasaustausch? Und wie wirkt das zurück auf das globale Klima?“

Um die Rückkopplung zwischen Klimawandel und schrumpfendem Regenwald ermessen zu können, müssen

die Wissenschaftler zunächst einmal verstehen, welche Rolle ein intakter Wald im globalen Klima spielt. Daher arbeitet Susan Trumbore zusammen mit ihrem Team seit einigen Jahren in einem außergewöhnlichen wissenschaftlichen Großprojekt mit: dem Atto, dem Amazon Tall Tower Observatory (Amazonas-Hochturm-Observatorium), einem Ensemble von drei dünnen Türmen aus Stahlfachwerk, von denen der höchste 325 Meter hoch ist – höher als der Eiffelturm.

WELCHE FOLGEN HABEN SCHÄDEN IM BAUMBESTAND?

Das Observatorium liegt etwa 150 Kilometer nordöstlich der Stadt Manaus tief im Regenwald. Die Fahrt dorthin dauert mehrere Stunden – wobei ein Teil der Strecke mit Booten auf einem Fluss zurückgelegt wird. „Das Gebiet ist einzigartig“, sagt Susan Trumbore. Es liegt fern von Städten und Dörfern. Die Luft hier ist die reinste auf dem ganzen Pla-



neten. Dort lässt sich der Stoffaustausch zwischen dem unberührten Wald und der Atmosphäre sehr genau messen. „Im Grunde ist dies der letzte Platz auf der Erde, wo wir den Einfluss eines großen intakten Waldes in seiner Ursprünglichkeit erforschen können“, so Trumbore.

Wenn es am Südrand des Amazonas nicht gerade brennt und der Wind ungünstig steht. Dann wandern zum Beispiel Aerosole aus Rußpartikeln nach Norden. Da an solchen Aerosolen leicht Wasserdampf kondensiert, sodass sich Tröpfchen bilden, ist es denkbar, dass die Brände im Süden die Wolkenbildung und die Niederschläge im gesamten Amazonasbecken beeinflussen. Ob das zu mehr Regen oder einer Veränderung der Niederschlagsgebiete führt, können die Experten aber noch nicht sagen.

Die Messtürme wurden nach und nach von brasilianischen und deutschen Forschungseinrichtungen errichtet, darunter der Max-Planck-Gesellschaft mit Unterstützung durch das Bundesforschungsministerium. Sie sind gespickt mit Geräten, die Kohlendioxid, Methan und andere Substanzen sowie die Menge an Aerosolen in der Atmosphäre messen. Mit ausgeklügelten Mess- und Re-

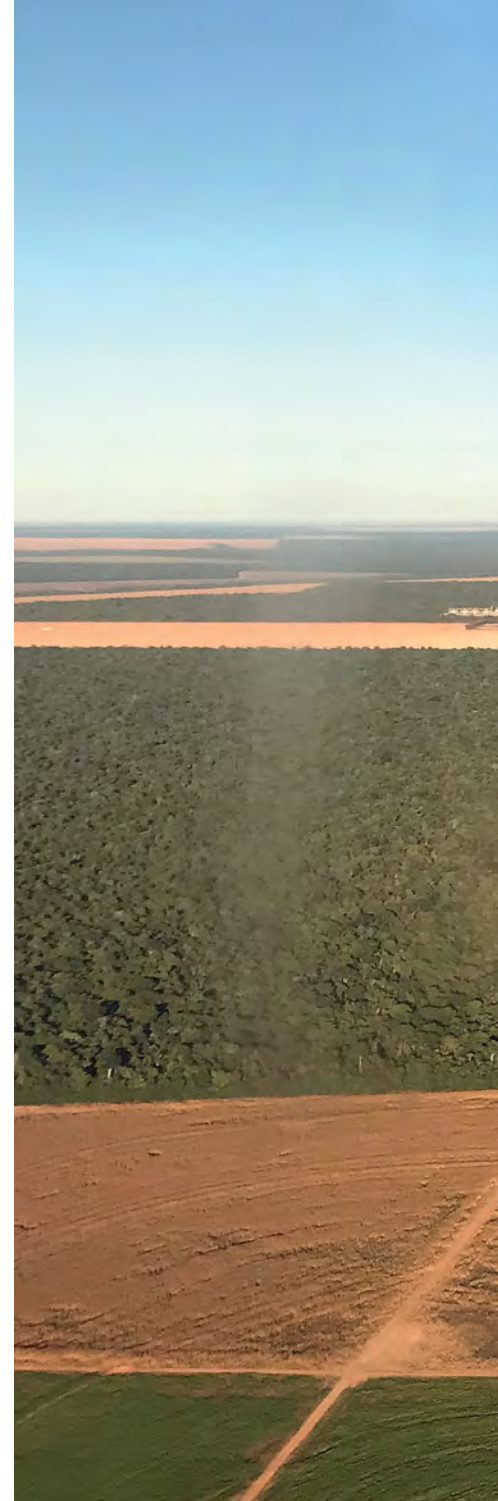
chenverfahren ermitteln die Forscher, welche Stoffe der Wald in welchen Mengen mit der Luft austauscht. Andere Apparate messen die Windrichtung und -geschwindigkeit sowie die Sonneneinstrahlung über dem Wald.

Die Forscher um Susan Trumbore betrachten am Atto aber nicht nur den Stoff- und Energieaustausch zwischen Wald und Atmosphäre. Sie untersuchen auch, welche Folgen Schäden im Baumbestand haben: In der Nähe des Observatoriums haben Gewitterstürme vor einigen Jahren ganze Baumgruppen umgestürzt. Dadurch sind Lichtungen im ansonsten dichten Wald entstanden – ideale Forschungsareale, von denen das größte insgesamt 28 Hektar groß ist, etwa so groß wie 40 Fußballfelder.

UNTERSUCHUNGSGEBIET IN EINEM BRENNPUNKT BRASILIENS

Zusammen mit ihrem Team kann Susan Trumbore hier ganz verschiedene Aspekte erforschen – etwa wie schnell die Bäume verfallen und in welchem Maße sie dabei den in ihnen gespeicherten Kohlenstoff freisetzen. Mit dem Klimawandel könnten schwere Stürme häufiger auftreten, Stürme, die so stark sind, dass sie reihenweise Bäume entwurzeln. Das Holz wird zersetzt, und so verringert sich mit der Zeit die Biomasse des Waldes.

Susan Trumbore und ihre Mitarbeiter untersuchen zudem, wie schnell sich die betroffenen Wälder regenerieren. So haben sie festgestellt, dass sich die Verdunstung und die Photosynthese innerhalb weniger Jahre erholen, weil schnell wachsende Büsche und Bäume diese Funktionen übernehmen. Bis sich aber wieder so viel Biomasse wie im alten Baumbestand gebildet hat, vergehen Jahrzehnte. Und noch länger dauert es, bis der Wald auch nur annähernd so artenreich ist wie früher.



Links Susan Trumbore erforscht die Wechselwirkungen zwischen Amazonas-Regenwald und Klima.

Oben Landwirtschaft auf dem Vormarsch: Am Rand des Amazonasbeckens müssen große Teile des Waldes Ackerflächen weichen. Das lokale Klima wurde dadurch trockener und heißer, obwohl der verbliebene Wald noch kühlend wirkt und für Regen sorgt.



Foto: Paulo Brando

Die Ergebnisse im Atto-Gebiet vergleicht Susan Trumbore mit Messungen in einer zweiten brasilianischen Region, in der sie seit einigen Jahren forscht. Dieses Untersuchungsgebiet, die Tanguro-Ranch, liegt in einem Brennpunkt Brasiliens, dort, wo der Wald an die gerodeten Savannen und Ackerflächen grenzt – etwa 2500 Kilometer südlich von Manaus, im Staat Mato Grosso, dem trockensten Teil des Amazonasbeckens. Typisch für die Region ist der Übergang zwischen den

dichten Amazonaswäldern und Savannen. Im Gebiet der Tanguro-Ranch wird intensiv Landwirtschaft betrieben. Hier verzeichnete man in den letzten Jahrzehnten die höchsten Raten an Rodungen.

Die Forscherinnen und Forscher analysieren, wie sich das lokale Klima durch den Baumverlust verändert, betrachten aber auch die globalen Klimaeffekte des Kahlschlags. Schon jetzt zeichnet sich ab, dass das Klima in dieser Region, in der ohnehin schon eine

fünfmonatige Trockenzeit herrscht, durch die intensive Abholzung noch wärmer und trockener wird.

Darüber hinaus gehen die Wissenschaftler der Frage nach, wie stark der verbliebene Wald an der Grenze zur Savanne in Mitleidenschaft gezogen wird – und ob er eine Chance hat, sich auf gerodeten Flächen zu erholen. Um diese Fragen zu beantworten, startete ein Team, zu dem neben Experten aus Brasilien und Deutschland auch Fachleute vom US-amerikanischen Woods Hole

Unterschätzte Bedrohungen: Feuer am Waldboden sind für Satelliten unsichtbar, Atto kann auch solche Brände anhand von Messungen des Rauchs registrieren (links). Auf gerodeten Flächen können sich Gräser ausbreiten und in einen angrenzenden Wald einwandern (rechts); sie können Susan Trumbore sogar über den Kopf wachsen und nehmen Baumsprösslingen das Licht. So erschweren sie die Regeneration des Waldes. Außerdem machen sie den Wald anfälliger für Feuer.



Research Center gehören, Anfang der 2000er-Jahre ein ungewöhnliches Projekt: Brandexperimente auf drei jeweils 50 Hektar großen Waldgebieten im Übergangsbereich zur Savanne.

Eine Parzelle brannten die Forscher zwischen 2004 und 2010 jährlich ab, eine Parzelle nur alle drei Jahre. Die dritte Parzelle blieb unberührt. Dann gaben sie dem Wald Zeit, sich zu erholen. Währenddessen analysierten sie die klimatischen Bedingungen und die Stoffflüsse in den abgebrannten Parzellen und verglichen sie mit entsprechenden Daten aus einem nahe gelegenen Sojafeld, vom Waldrand und einer tiefer im Wald stehenden Messstation.

Dabei stellten die Forscher fest, dass die Feuer dem Wald in feuchten Jahren nicht allzu stark zusetzten. War die Saison aber trocken, was seit einigen Jahren immer häufiger der Fall ist, verbrannte das Feuer sehr viele Bäume. Sobald die Feuer große Lücken gerissen hatten, lichtete sich der umgebende Wald, weil der Wind jetzt mehr Angriffsfläche hatte und weil der Wald schnell-

ler austrocknete. Dieser Effekt setzt sich bis heute, acht Jahre nach dem letzten Brand, fort. Und noch immer sterben auffällig viele Bäume an den Folgen der Feuer. Zudem sind viele Gräser in die offeneren Wälder eingedrungen. Sie unterdrücken das Nachwachsen von Bäumen, weil sie den Keimlingen Licht und Nährstoffe nehmen.

DIE WÄLDER WERDEN DURCH DIE BRÄNDE EMPFINDLICHER

Zwar zeigen die Messungen, dass die nachwachsenden Bäume wie in der Atto-Region schon nach wenigen Jahren wieder wichtige Ökosystemleistungen erfüllen – vor allem im Vergleich mit dem trockenen Sojafeld: So hatten sich die Verdunstung sowie die Photosynthese und mit ihr die Aufnahme von Kohlenstoff aus der Luft bis 2017 wieder normalisiert. Auch wirkt die Verdunstung in dieser heißen Region kühlend, was verdeutlicht, wie wichtig es ist, in landwirtschaftlich genutzten Gebieten Wälder wenigstens zum Teil zu

erhalten. Aber insgesamt speichern die Flächen heute auch hier deutlich weniger Kohlenstoff.

Alles in allem geht es dem Wald zehn Jahre nach einem Feuer noch nicht wieder gut: Ein junger, verbuschter Wald, der nach einem Brand wächst, stellt nicht dasselbe Ökosystem dar wie der ursprüngliche. Schlimmer noch: In manchen Gebieten verschwindet der Wald nach einem Brand möglicherweise ganz. „Wir beobachten, dass die Wälder und vor allem die Waldränder durch die Brände empfindlicher werden“, sagt Susan Trumbore. An manchen Stellen sterbe der Wald nach einem Brand zusehends weiter ab und werde schließlich zur Savanne. „Wir gehen davon aus, dass es Kipppunkte gibt, an denen sich ein Wald nicht mehr von allein erholen kann und verschwindet“, sagt die Wissenschaftlerin. Wo dieser Kipppunkt liegt, sei aber noch unklar.

Daher will das Team um Susan Trumbore auch herausfinden, welche Baumarten in der zunehmend trockenen und heißen Region um die Tanguro-Ranch



eine Überlebenschance haben. „Es ist gut möglich, dass die Arten, die schnell nachwachsen, auch schnell wieder eingehen“, sagt sie. „Wir wissen noch nicht, welche Arten unter den sich verschärfenden klimatischen Bedingungen das Zeug dazu haben, einen neuen, stabilen Wald zu bilden.“

Auch Susan Trumbore hat das Ausmaß der Feuer erschreckt, die vor wenigen Monaten in dieser Region wüteten. Andererseits sagt sie, habe die Fläche, die jährlich gerodet werde, in den vergangenen Jahren eher abgenommen. Anfang der 2000er-Jahre seien pro Jahr noch deutlich größere Waldgebiete verschwunden. Ob die verheerenden Brände des Jahres 2019 mit der Politik des brasilianischen Präsidenten Jair Bolsonaro zusammenhängen, kann die Wissenschaftlerin nicht sagen. „Vermutlich hat auch die lang anhaltende Dürre der letzten Zeit dazu beigetragen.“

Jedenfalls sieht sie die Verantwortung für den Erhalt des Amazonas-Regenwaldes nicht nur bei den Brasilianern. „Die Menschen in den Industrie-

nationen sind gut darin, anderen zu sagen, wie man es richtig macht. Aber letztlich tragen wir in den Industrieländern ja mit dazu bei, dass die Situation so ist, wie sie ist“, sagt sie. So stammen nach Angaben der Umweltstiftung WWF rund 80 Prozent des nach Deutschland importierten Sojas aus Südamerika.

Allerdings importiert China mit rund 60 Prozent der Weltproduktion weltweit am meisten Soja. Etwa die Hälfte davon stammt aus Brasilien.

Die Vorgänger von Präsident Bolsonaro, Luiz Inácio Lula da Silva und Dilma Rousseff, hatten sich dafür starkgemacht, durch verbesserte Anbaumethoden mehr aus den Böden herauszuholen, auf diese Weise die Produktion zu steigern und den Druck auf den Wald zu verringern. Jair Bolsonaro propagiert hingegen die Ausdehnung der Ackerfläche. Für Susan Trumbore sind daher vor allem die Importnationen in der Pflicht: „Solange sie nicht darauf drängen, dass Brasilien sorgsamer mit dem verbliebenen Wald umgeht, wird sich die Situation nicht ändern.“

Und natürlich müssten auch die Menschen in den Industrienationen beim Kauf von Lebensmitteln stärker darauf achten, woher die Rohstoffe stammen – und jene Produkte ablehnen, die aus den kritischen Gegenden Brasiliens stammen. Denn allein mit dem Finger auf andere zu zeigen, wird den brasilianischen Regenwald nicht vor weiterer Zerstörung bewahren. ◀

AUF DEN PUNKT GEBRACHT

- Im Sommer 2019 wüteten außergewöhnlich viele Feuer im Amazonas-Regenwald. Viele der Feuer haben Menschen gelegt, zunehmende Trockenheit hat die Brände verstärkt.
- Wie sich Regenwald und Klima wechselseitig beeinflussen, untersuchen Teams um die Max-Planck-Forscherin Susan Trumbore in verschiedenen Projekten – zum einen am Amazon Tall Tower Observatory (Atto) im Herzen des Regenwaldes, zum anderen auf der Tanguro-Ranch im Bundesstaat Mato Grosso.
- Auf gerodeten Flächen wird es heißer und trockener, da dort viel weniger Wasser verdunstet. Weil der Amazonas-Regenwald den Wasserhaushalt der ganzen Region prägt, beeinflusst das auch die Niederschläge in anderen Gebieten. Auf das globale Klima wirkt sich aus, dass durch die Rodungen CO₂ freigesetzt wird.
- Kann der Wald auf gerodeten Flächen nachwachsen, so erreicht der Austausch von Kohlendioxid und Wasser zwischen Vegetation und Atmosphäre nach wenigen Jahren sein ursprüngliches Niveau. Der Wald speichert insgesamt jedoch deutlich weniger Kohlenstoff und bleibt anfälliger gegen Hitze, Trockenheit und Windwurf, sodass er weiter abstirbt und sich schlimmstenfalls in eine Savanne verwandelt.



Die Muster des Terrors

Terrorismus macht Angst. Wir fühlen uns hilflos, weil das Vorgehen der Täter so wenig nachvollziehbar erscheint. Doch auch Terrorgruppen agieren nach einer gewissen Logik. **Carolín Görzig** und ihre Gruppe am **Max-Planck-Institut für ethnologische Forschung** in Halle haben es sich zur Aufgabe gemacht aufzudecken, nach welchen Regeln Terroristen handeln. Ihre Erkenntnisse bringen mehr Licht in das Dunkel terroristischer Machenschaften.

TEXT **MECHTHILD ZIMMERMANN**



Nach der Tat: Polizisten sichern vor der Synagoge in Halle den Ort, an dem eine Frau erschossen wurde. Der Täter hatte einen Anschlag auf die jüdische Gemeinde geplant.

Halle an der Saale, 9. Oktober 2019. Es ist Mittag, als ein bewaffneter Mann in die Synagoge einzudringen versucht, in der sich die jüdische Gemeinde zum höchsten jüdischen Feiertag, Jom Kippur, versammelt hat. Nur durch glückliche Umstände hält die Tür den Schüssen stand. Daraufhin erschießt der Attentäter eine Passantin auf der Straße und ein Stück weiter den Gast eines Dönerimbisses. Der Generalbundesanwalt wird später von Terror sprechen.

Gerade eineinhalb Kilometer vom Tatort entfernt, am Max-Planck-Institut für ethnologische Forschung, soll am selben Mittag eigentlich das Interview für diesen Artikel stattfinden. Zentrale Fragen: Aus welchen Motiven handeln Terroristen? Wie entwickeln sich Ter-

rorgruppen? Welche Wege gibt es aus der Gewalt?

Doch das Gespräch mit den Wissenschaftlern kommt an diesem Tag nicht zustande, die Stadt ist lahmgelegt, der Täter noch auf der Flucht. Die Fragen, die umso drängender geworden sind, bleiben erst einmal unbeantwortet.

TERRORGRUPPEN SETZEN SICH AUCH GRENZEN

Zwei Wochen später, auf dem Weg vom Bahnhof Halle zum Institut, passiert die Trambahn den Imbiss, in dem am 9. Oktober ein Mann ermordet wurde. Eine ältere Frau zeigt auf das geschlossene Lokal, vor dem die Hallenser einen Teppich aus Blumen und Kerzen ausgebreitet haben. Ihre Sitznachbarin schüttelt nur stumm den Kopf. Der Forschungs-

gegenstand der Max-Planck-Forschungsgruppe „How ‚terrorists‘ learn“ ist dem Institut gespenstisch nahe gerückt.

„Die Nähe macht schon einen Unterschied“, sagt Carolin Görzig, Leiterin der Forschungsgruppe. Seit 15 Jahren befasst sie sich wissenschaftlich mit Terrorgruppen, seit vier Jahren arbeitet sie mit ihrem Team am Institut in Halle an der Thematik. „Für mich war das immer ein spannendes Thema, das man analysieren kann, um die Zusammenhänge zu verstehen. Dass das jetzt so nahe gekommen ist, war ein Schock.“ Görzig kennt Kollegen, die sich irgendwann anderen Fragen zugewendet haben, weil sie die ständige Auseinandersetzung mit Gewalt und Terror nicht länger ertragen. „Ich glaube, je mehr man die Distanz verliert, umso herausfordernder wird es, auf diesem Gebiet

zu forschen“, sagt die Wissenschaftlerin. Sie paart Empathie für ihre Interviewpartner mit professioneller Distanz.

Und das ist gut. Denn ohne Forschung bliebe Terrorismus undurchschaubar. Anders als man landläufig denkt, wüten Terroristen nicht in blinder Gewalt gegen alles und jeden. Ihre Taten folgen einer gewissen Logik und bestimmten Mustern. Terrororganisationen planen und stecken sich Ziele, setzen sich aber auch Grenzen, die sie nicht überschreiten. Eine wichtige Frage für Görzig und ihr Team ist zudem, welche Dynamiken sich innerhalb der Gruppe und der Führung entfalten – Dynamiken, die auch aus der Gewalt herausführen können.

EIN ANSCHLAG ZEIGT DEN MITGLIEDERN: DIE TUN WAS

Klare Muster zu finden, wie sich Terrorgruppen verhalten, ist allerdings nicht immer möglich. Die Gruppen und der Kontext, in dem sie agieren, sind selbst in Europa oft unterschiedlich. Das zeigt sich schon bei der Frage, wie sich Terrorismus überhaupt entwickelt. Eine Gemeinsamkeit ist in der Regel der Eindruck von Ungerechtigkeit, erklärt Michael Fürstenberg, der als Politologe in Görzigs Gruppe forscht. „Viele Terroristen fühlen sich in einer Opferrolle. Ihre Wahrnehmung ist, dass sie gegen ihre Unterdrückung kämpfen.“ Daher bezeichnen sie sich auch nie selbst als „Terroristen“. Oft sind sie Teil einer Massenbewegung mit politischer Basis oder empfinden das zumindest so. Für die Entscheidung, mit einer Terrororganisation zu sympathisieren oder sich ihr sogar anzuschließen, spielen zudem oft das persönliche Umfeld eine Rolle sowie der Wunsch nach Zugehörigkeit.

In Westafrika, vor allem in den Ländern Niger und Nigeria, wo die islamistische Terrorgruppierung Boko Haram aktiv ist, kommt ein weiterer Aspekt hinzu. Die Terroristen profitieren dort von der Perspektivlosigkeit der Bevölkerung ebenso wie von der Schwäche des Staates. Florian Köhler beobachtet als

Ethnologe am Hallenser Institut seit Jahren die Lage vor Ort: „Anfangs war es eine Strategie von Boko Haram, Funktionen zu erfüllen, die der Staat nicht erfüllt hat. Die Gruppierung ist als soziale Bewegung aufgetreten und hat zum Beispiel Mikrokredite vergeben. Das hat ihr viele Sympathien eingebracht.“ Die Stimmung kippte allerdings, als die Gruppe immer mehr zur Gewalt gegen Zivilisten griff.

Ziel von Boko Haram ist, die Scharia einzuführen, also die islamische Rechtslehre nach dem Koran. Außerdem lehnt die Gruppierung Demokratie und Bildung nach westlichem Muster ab. Damit reiht sie sich zusammen mit al-Qaida, dem „Islamischen Staat“ (IS), den Taliban und vielen kleineren Gruppen in die dschihadistische Bewegung ein, die in zahlreichen Ländern weltweit agiert. Zentral ist ihre Interpretation des Dschihad, wonach der Islam durch Kampf verbreitet werden soll.

Terroristische Gewalt ist also in der Regel nicht beliebig. Politische Ziele haben einen großen Stellenwert, betont Michael Fürstenberg. „Beim IS konnte man sehen, wie wichtig die Idee des Kalifats war – auch für das ‚Branding‘.“ Allerdings stehe zunächst oft die Existenz der Organisation im Vordergrund: „Die Gruppe soll überleben, sich ausbreiten und wachsen. Gewalt dient also erst einmal dem Zweck, die Einheit zu legitimieren und sozusagen ins öffentliche Bewusstsein zu bomben. Außerdem demonstriert ein Anschlag den eigenen Mitgliedern: Die tun was.“

Für die unteren Ebenen der Organisationen kann so die Gewalt durchaus zum Ziel werden. Die Führungsebene hat meist ein eher instrumentelles Verständnis von Gewalt, weiß Fürstenberg vom Terrornetzwerk al-Qaida: „Sie haben Guidelines verabschiedet, in denen sie bestimmte Gewalt legitimieren, andere Arten klar ablehnen. Das war ganz interessant: Nach dem Attentat in Christchurch, als ein Rechtsextremist ein Blutbad in zwei Moscheen angerichtet hatte, meldete sich der Führer von al-Qaida zu Wort. In einer Audio-

botschaft hat er Rache für die Tat gefordert, aber es ausdrücklich abgelehnt, Kirchen anzugreifen, nach der Devise: So etwas machen wir nicht, das geht ja überhaupt nicht.“

DIE ANFÜHRER BEGANNEN, GEWALT ZU HINTERFRAGEN

Wenn es um ihre Mission geht, suchen Terrorgruppen bewusst die Öffentlichkeit. Welche Ziele sie verfolgen, lässt sich nachlesen, erzählt Fürstenberg: „Es gibt überraschend viele Dokumente von Terrorgruppen: Bücher, Schriften, Briefe. Oder es gibt quasi-öffentliche Foren im Internet, in denen sich Terroristen austauschen.“ Quellen wie diese nutzt die Forschungsgruppe, um Einblicke ins Innere der Organisationen zu bekommen.

Carolyn Görzig, die Leiterin der Forschungsgruppe, hat sich unter anderem intensiv mit der ägyptischen Islamisten-



bewegung Gamaa Islamiya befasst. Als Terrorgruppe war diese vor allem von den 1970er- bis in die 1990er-Jahre aktiv. 1997 verübten Mitglieder der Gamaa Islamiya in einer altägyptischen Tempelanlage in Luxor ein Massaker an Touristen. Daraufhin ging der ägyptische Staat hart gegen die Gruppe vor. Führende Köpfe und Tausende Anhänger wurden verhaftet, viele auch getötet.

Im Gefängnis begannen die Anführer, ihre Gewalttaten zu hinterfragen. „Sie hatten realisiert, dass ihre Mittel zum Selbstzweck geworden waren“, erklärt Görzig. „Und das stand im Widerspruch zu ihrem eigentlichen Ziel, nämlich die Menschen im Sinne des Islam zu führen.“ Die Selbstreflexion im Gefängnis war unter anderem angeregt durch liberale und gelehrte Mitgefangene, mit denen sie ins Gespräch kamen.

Görzig beleuchtet diesen Reflexionsprozess mit einem Konzept der Organisationswissenschaftler Chris Argyris und Donald A. Schön. Deren Ansatz lautet: Will eine Firma sich weiterentwickeln, reicht es nicht, einzelne Arbeitsschritte zu betrachten, sie muss auch dahinterliegende Routinen und ungeschriebene Regeln hinterfragen. In vielen Unternehmen werden zum Beispiel Fehler eher vertuscht als offen angesprochen – mit entsprechend negativen Folgen. Die Führungskräfte müssen also versuchen, solche Routinen infrage zu stellen und aufzubrechen.

Ähnliches haben nach Görzigs Analyse die Anführer der Gamaa Islamiya getan und ihre Überlegungen in Büchern festgehalten. Dabei gehen sie erstaunlich weit in ihrer Selbstkritik, berichtet die Konfliktforscherin: „Sie

haben zum Beispiel festgestellt, dass man als Anführer leicht davor zurückschreckt, seinen Kurs zu korrigieren, weil man Angst davor hat, Anhänger zu verlieren oder gegenüber konkurrierenden Organisationen schlecht dazustehen. Und dennoch haben sie ihre Anschauungen reflektiert und sind zu dem Schluss gekommen, der Gewalt abzuschwören.“

ES GIBT EINE KONKURRENZ ZWISCHEN TERRORGRUPPEN

Für Carolin Görzig ist das eine wichtige Erkenntnis, wenn es um Verhandlungen mit Terroristen geht. „Wer den Anspruch hat, die Terrorgruppe müsse erst ihre Ziele vollständig aufgeben, fordert sie quasi zur Kapitulation auf. Stattdessen sollten Verhandlungen darauf ab-

Spuren des Terrors: Die islamistische Boko Haram ist in Nigeria für ihr brutales Vorgehen bekannt. Die Gruppe profitiert von der Schwäche des Staates. In ihren friedlicheren Anfangsjahren übernahm sie sogar soziale Funktionen, die der Staat nicht erfüllte.

Foto: Mohammed Elshamy/picture alliance/AA





Politik statt Gewalt: Dass auf der Wand im nordirischen Belfast Nelson Mandelas Bild prangt, ist kein Zufall. Der südafrikanische Freiheitskämpfer war ein Vorbild für die irisch-republikanische Terrororganisation IRA, als sie Anfang der 2000er-Jahre Abstand von der Gewalt nahm.

zielen, dass die Terroristen ihre Mittel und Werte reflektieren.“

Dass Terrororganisationen sich hinterfragen, ist keine Ausnahme, hat Görzig festgestellt. Auch die irisch-republikanische Terrororganisation IRA, die über Jahrzehnte für eine Vereinigung der Republik Irland mit dem britisch regierten Nordirland kämpfte, hat um die Jahrtausendwende Abstand von der Gewalt genommen. Dabei orientierte sich die IRA wiederum stark am Afrikanischen Nationalkongress ANC. Die Organisation, deren prominentester Anführer Nelson Mandela war, hat in den 1970er-Jahren auch mit Gewalt gegen die Diskriminierung der schwarzen Bevölkerung in Südafrika gekämpft. Nach dem Ende der Apartheid formte sich der ANC aber zu einer rein politischen Organisation um. Vom ANC lernte die IRA, dass Veränderungen friedlich möglich sind und dass man auch auf politischem Weg gewinnen kann. Zum Beispiel brachten Vertreter des ANC den

IRA-Mitgliedern bei, wie weit sie gehen konnten mit ihrem Richtungswechsel, ohne die Basis zu verlieren.

DER DROHNENKRIEG HAT DIE GEWALT GESCHÜRT

Auch in der islamistischen Terrorgruppierung Boko Haram in Westafrika gab es interne Diskussionen über Gewalt, berichtet Florian Köhler. „Der Vergleich lässt erkennen, dass es zentral ist, von welcher Ebene so eine Debatte angestoßen wird. Bei Boko Haram war es ein Widerstand gegen die Führung, in dem solche Ideen formuliert wurden. Die Folge war, dass die Bewegung sich spaltete und die Kerngruppe sich weiter radikalisiert hat.“

Insgesamt führt die Mäßigung einer Terrorgruppe oft zu einer Eskalation an anderer Stelle. Die Aufspaltung ist eine Möglichkeit. Oder ein Teil der Mitglieder wandert zu anderen Organisationen ab, berichtet Görzig. „Es besteht

immer eine Konkurrenz zwischen Gruppen, die ähnliche Ziele anstreben. Und mit ihren Aktionen schärfen sie sozusagen ihr Profil. Sie wollen ihren Anhängern zeigen: Wir stehen auf der richtigen Seite.“

So gab es Gamaa-Islamija-Mitglieder, die nach der Deradikalisierung zu al-Qaida wechselten. Und al-Qaida hat wiederum ihre Aktivitäten ausgeweitet, indem sie die Gewalt gegen den „fernen Feind“ USA richtete, was schließlich in der Anschlagsserie vom 11. September 2001 kulminierte.

Zu einer Eskalation der Gewalt kann es auch kommen, wenn ein betroffener Staat mit massiven Gegenmaßnahmen auf terroristische Aktivitäten reagiert. Der „Krieg gegen den Terror“, den US-Präsident George W. Bush als Reaktion auf den 11. September erklärte, oder auch die zahlreichen zivilen Opfer der US-amerikanischen Drohnenangriffe vor allem in Pakistan haben nach den Erkenntnissen der Wis-

senschaftler viele junge Leute erst in die Arme der Terroristen getrieben.

So spricht einiges dafür, dass sich die Spirale der Gewalt weiterdrehen wird und die Islamisten ihren Kampf fortführen werden. Eines der Hauptprobleme sieht die Forschungsgruppe in der offenen Frage, wie die gefangen genommenen Terroristen in Syrien und im Irak jemals wieder in die Gesellschaft integriert werden können. In Syrien gibt es keinen funktionierenden Staat, schon gar keinen Rechtsstaat, der in fairen Prozessen die Taten aufarbeiten, die Täter bestrafen und schließlich auch resozialisieren könnte. Auch im Irak sitzen Tausende in Lagern, der Staat ist überfordert. Besonders kritisch sehen die Forscher, dass die europäischen Länder nicht bereit sind, ihre Staatsangehörigen, die den IS unterstützt haben, zurückzunehmen. „Dort wächst die nächste Generation von Dschihadisten heran“, meint Michael Fürstenberg.

In Anlehnung an ein Modell des US-amerikanischen Politologen David Rapoport haben Carolin Görzig und Michael Fürstenberg im Juli 2019 einen Artikel veröffentlicht, in dem sie die zukünftigen Entwicklungen im Terrorismus erörtern. Nach Rapoport's Modell hat sich der Terrorismus seit 1880 in vier sich überlappenden Terrorwellen entwickelt. Auf die anarchistische Welle, die bis etwa in die 1920er-Jahre dauerte, folgte eine antikonominale Welle, die von den 1920er- bis in die 1960er-Jahre reichte. Dann kam die Welle der Neuen Linken von den 1960er- bis zu den 1990er-Jahren, und Anfang der 1980er-Jahre begann die aktuelle, religiös motivierte Welle. Dass die Wellen jeweils rund 40 Jahre dauern, liegt laut Rapoport an einem Generationeneffekt: Wellen enden, weil ihre Energie nicht

ausreicht, die Generation der Kinder für die Ziele zu begeistern. Demnach müsste der islamistische Terror sich allmählich abschwächen.

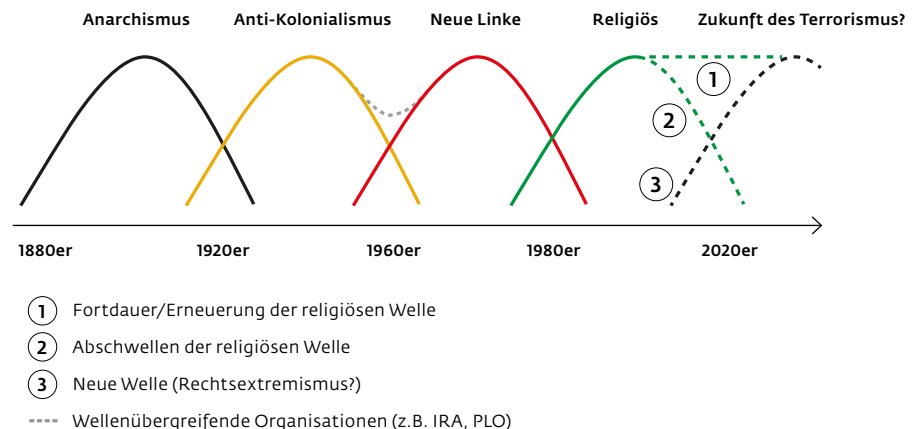
RECHTSEXTREMISTEN AGIEREN OFT ALS „EINSAME WÖLFE“

„Rapoport selbst ist jedoch skeptisch, ob für das Ende der religiösen Welle die gleichen Regeln gelten wie für die ideologisch motivierten Wellen“, sagt Carolin Görzig. Zumal es für das Ende der bisherigen Wellen meistens auch politische Gründe gab: Die Anliegen der Anarchisten wurden durch die politischen Umbrüche am Ende des Ersten Weltkriegs zumindest teilweise umgesetzt. Die antikonominalen Gruppen hatten ihre Ziele durchgesetzt, als die kolonialisierten Staaten in die Unabhängigkeit entlassen wurden. Und die Neue Linke wurde mit dem Ende der Sowjetunion obsolet. Die Islamisten sind jedoch mit ihren Zielen kaum

weitergekommen. „Es spricht einiges dafür, dass es der dschihadistischen Bewegung gelingen könnte, die Energie der Welle zu erhalten oder in eine neue Welle zu überführen“, meint Michael Fürstenberg.

Er und Görzig sehen aber noch ein weiteres, recht wahrscheinliches Szenario: eine völlig neue Welle rechtsextremistischen Terrors. Anzeichen für wachsende Gewalt von rechts gibt es bereits: angefangen bei der Anschlagserie der deutschen Terrorgruppe Nationalsozialistischer Untergrund (NSU) zwischen 2000 und 2007 über das Attentat auf eine Synagoge in Pittsburg im Oktober 2018 und den Terroranschlag auf zwei Moscheen in Christchurch im März 2019 bis zum Attentat in Halle.

Allerdings unterscheiden sich die Rechtsextremisten in einigen Punkten wesentlich von den vorhergehenden Wellen. So ist bei ihnen Gewalt nicht nur Mittel zum Zweck, sondern wesentlicher Teil der Ideologie, sagt Fürsten-



Auf und Ab der Gewalt: Der Terrorismus hat sich laut dem Politologen David Rapoport in einem Rhythmus von rund 40 Jahren wellenförmig entwickelt. Offen ist, wie sich das Muster fortsetzt.



Vor der eigenen Tür: Nach dem rechtsextremistischen Anschlag in Halle bringen Menschen Blumen und Kerzen an die Synagoge. Für die Wissenschaftler am Hallenser Max-Planck-Institut ist es ein Schock, dass ihr Forschungsthema plötzlich so nahe gerückt ist.

berg: „Was die erreichen wollen, ist eine Art Bürgerkrieg der Weißen gegen alle anderen, einen Rassenkrieg.“ Auffällig ist auch, dass viele Anschläge von Einzeltätern begangen werden. Der amerikanische Neonazi Louis Beam, ehemals Mitglied des Ku-Klux-Klan, verbreitete zu Beginn der 1990er-Jahre das Konzept des „führerlosen Widerstands“ im Rechtsextremismus, Einzeltäter oder Kleingruppen sollten sich berufen fühlen, als „einsame Wölfe“ Anschläge zu verüben.

Für den deutschen Rechtsstaat ist ein solches Konzept problematisch. Denn hierzulande definiert sich Terror juristisch dadurch, dass hinter einem Terroranschlag eine Vereinigung von mindestens drei Personen steht. Im Internetzeitalter sei diese Definition ohnehin fragwürdig, sagt Fürstenberg: „Die traditionelle Unterscheidung zwischen Gruppe und Einzeltäter lässt sich eigentlich nicht aufrechterhalten. Denn die ‚einsamen Wölfe‘ leben in einem digitalen Rudel. Ihr ideologisches und taktisches Rüstzeug stammt aus der Onlinecommunity.“

Carolyn Görzig sieht darüber hinaus einen klaren Zusammenhang zwischen einer zunehmend aggressiven Sprache von Politikern am rechten Rand und terroristischen Aktivitäten: „Die Rhetorik, wie sie etwa von der AfD immer wieder verwendet wird, gibt Individuen das Gefühl, dass Anfeindungen gegen religiöse Gruppen, Migranten oder politisch Andersdenkende akzeptiert sind, und einige wenige fühlen sich berufen, mit Gewalt zu agieren.“

Die Mitglieder der Forschungsgruppe sind alles andere als glücklich, dass ihre Prognose so schnell und gewissermaßen vor der eigenen Tür bestärkt wurde. „Wir wollten es ja nicht herbeireden“, sagt Görzig, „aber das Attentat von Halle gibt uns schon zu denken.“ Viele ethische Fragen, mit denen sich die Gruppe bereits in den vergangenen Jahren in Workshops und Trainings befasst hatten, stellen sich die Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler gerade wieder neu: Befassen wir uns zu sehr mit den Tätern und lassen dabei die Opfer außer Acht? Wie viel Verständnis können und sollten wir den Terroristen entgegenbringen, mit denen wir uns beschäftigen? Riskieren wir, uns als Propagandawerkzeug benutzen zu lassen?

Doch die Gruppe möchte den neuen Entwicklungen nicht einfach zusehen. „Wir planen, unsere Forschung zum Rechtsterrorismus zu verstärken“, sagt Görzig. Die Erkenntnisse der Forschungsgruppe über islamistischen Terror lassen sich nämlich zum Teil auf die Rechtsextremisten übertragen. So kann das Verständnis der Muster vielleicht dazu beitragen, auch dem rechten Terror etwas entgegenzusetzen. ◀

AUF DEN PUNKT GEBRACHT

- Terroristen sehen sich selbst nicht als Gewalttäter, sondern wehren sich aus ihrer Sicht gegen Unterdrückung und verfolgen politische Ziele.
- Gewalt wird als Mittel gesehen, um diese Ziele zu erreichen. Sie dient aber auch dem Zusammenhalt und der öffentlichen Präsenz der Gruppe.
- In der Vergangenheit sind Terrorgruppen von gewalttätigen Aktionen abgerückt, wenn der Führung bewusst wurde, dass diese Mittel nicht geeignet sind, um die eigentlichen politischen Ziele zu erreichen.
- Es gibt derzeit Anzeichen für eine neue rechtsextremistische Terrorwelle.



FORWARD.
VISION.
FUTURE.

€ 25,000

Apply until
February 15th, 2020

The Hermann Neuhaus Prize recognizes excellent postdocs and group leaders in the Biology & Medicine Section (**BMS**) and the Chemistry, Physics & Technology Section (**CPTS**). The prize enables the successful applicant to develop her or his research's potential for application.

For more information visit
www.mpg.de/hermann-neuhaus-prize

Hermann Neuhaus
**Hermann
Neuhaus
Prize**

Die Beobachterin

Nach einem Kunststudium wechselt die vielseitig begabte **Mathilde Hertz** in die Wissenschaft. Am **Kaiser-Wilhelm-Institut für Biologie** in Berlin forscht sie in den 1920er- und 1930er-Jahren als Tierpsychologin und Sinnesphysiologin – bis die NS-Herrschaft ihre Karriere beendet.

TEXT **ELKE MAIER**

Der Einsiedlerkreb hat es eilig. Gerade ist er aus seinem Schneckenhaus vertrieben worden und stakst nun schutzlos durch das Wasserbecken. Zur Abwehr möglicher Fressfeinde braucht er schleunigst einen neuen Unterschlupf – nur welchen?

Um herauszufinden, nach welchen Kriterien wohnungssuchende Krebse ihre Behausung auswählen, scheucht Mathilde Hertz die Tiere aus ihren Häusern und bietet ihnen unterschiedliche echte sowie künstliche, aus Gips geformte Modelle an. Akribisch hält sie fest, wie ihre Probanden darauf reagieren.

Es ist der Winter des Jahres 1932/33, in dem die Wissenschaftlerin einige Monate am Laboratorio biológico-marino auf Mallorca verbringt, wo sie die Einsiedlerkrebse studiert. Normalerweise arbeitet sie am Kaiser-Wilhelm-Institut für Biologie in Berlin-Dahlem und erforscht Rabenkrähen und Eichelhäher ebenso wie Honigbienen oder Kohlweißlinge. Dabei ist sie ausgesprochen produktiv, und ihre Arbeiten erscheinen in angesehenen Fachzeitschriften. Niemand ahnt, dass ihre Karriere schon kurze Zeit später beendet sein wird.

Heute ist Mathilde Hertz nur noch wenigen bekannt, ganz im Gegensatz zu ihrem Vater: Der Physiker Heinrich Hertz ist als Entdecker der elektromagnetischen Wellen und Wegbereiter der drahtlosen Nachrichtenübertragung berühmt geworden. Die Frequenzeinheit „Hertz“ ist nach ihm benannt. Seine Tochter Mathilde Carmen kommt am 14. Januar 1891 in Bonn zur Welt. Sie ist knapp drei Jahre alt, als ihr Vater mit nur 36 Jahren stirbt.

Nach dem Abitur entscheidet sich Mathilde Hertz für ein Kunststudium in Weimar, Karlsruhe und Berlin und arbeitet danach als Bildhauerin. Weil sie von der Kunst allein nicht leben kann, nimmt sie im Herbst 1918 eine Stelle in der Bibliothek des Deutschen Museums in München an. Mit ihren zeichnerischen und bildhauerischen Fähigkeiten macht sie den Zoologen Geheimrat Ludwig Döderlein auf sich aufmerksam, der 1923 Direktor der Zoologischen Staatssammlung in München wird.



Außerordentlich begabt: Mathilde Hertz war bildende Künstlerin und Tierpsychologin, die sich als eine der wenigen Frauen in Deutschland im Jahr 1930 habilitierte.

Er beauftragt sie, bei der plastischen Rekonstruktion fossiler Gebisse mitzuhelfen. Dabei kann die junge Frau nicht nur ihre Beobachtungsgabe schulen, sondern fängt auch an, sich für die Stammesgeschichte der Tiere zu interessieren. Sie besucht Vorlesungen in Zoologie und Paläontologie und beschäftigt sich wissenschaftlich mit den Urzeitzähnen. Im Jahr 1925 promoviert sie mit ihrer Arbeit *Beobachtungen an primitiven Säugertiergebissen*. Ihr Doktorvater, der Zoologe Richard von Hertwig, bewertet sie mit summa cum laude.

Damit hat Mathilde Hertz den Sprung in die Naturwissenschaften geschafft. Von fossilen Säugerzähnen schwenkt sie um zu neuzeitlichen Stachelhäutern: Im Auftrag Döderleins bearbeitet sie die Schlangensterne, welche die deutsche Tiefsee-Expedition von 1898 bis 1899 und die deutsche Südpolar-Expedition von 1901 bis 1903 ans Tageslicht gebracht haben.

Mit einem Stipendium geht die Wissenschaftlerin anschließend an die Zoologische Staatssammlung in München und wechselt im Jahr 1927 nach Berlin. Das dortige Kaiser-Wilhelm-Institut für Biologie bietet gute Arbeitsmöglichkeiten, sogar für Frauen. Mathilde Hertz forscht in der Abteilung für Vererbungslehre und Biologie der Tiere unter der Leitung von Richard Goldschmidt. Die Qualität ihrer Arbeiten ist so überzeugend, dass man ihr nicht nur eine Assistentenstelle überlässt, sondern sogar ein eigenes Gebäude einrichtet, in dem sie ohne weitere Dienstverpflichtungen selbstständig experimentieren kann.

Inspiziert von den Arbeiten des Psychologen Wolfgang Köhler, der sich an der Anthropoidenstation auf Teneriffa mit dem Problemlöseverhalten von Schimpansen befasst hat, forscht Mathilde Hertz nun als Tierpsychologin. Ganz besonders interessieren sie die optischen Fähigkeiten und Leistungen der Tiere. Hertz ist Anhängerin der sogenannten Gestaltpsychologie – ein Ansatz, der das Tier als Gesamtheit in seiner Interaktion mit der Umwelt betrachtet. „Das Ganze ist etwas anderes als die Summe seiner Teile“,

Bienenfleiß: In Hunderten von Einzelexperimenten beobachtete Mathilde Hertz das Flugmuster von Bienen und welche Futterquellen bevorzugt angefliegen wurden.



lautet das Credo der Gestaltpsychologen. Die Wahrnehmung lässt sich demnach nur ganzheitlich verstehen und nicht, indem man sie in immer kleinere Teile zerlegt.

In Fachkreisen macht sich Mathilde Hertz vor allem mit ihren umfangreichen Arbeiten über die optische Wahrnehmung der Honigbiene einen Namen. Auf einem Tisch legt sie unterschiedliche Schwarz-Weiß-Figuren aus und platziert dazwischen Schälchen mit Zuckerwasser. In Hunderten von Einzelexperimenten beobachtet sie die Flugmuster der Bienen und notiert, welche Futterquellen bevorzugt angefliegen werden. So kann sie Rückschlüsse ziehen, auf welche Formen und Muster die Bienen am stärksten reagieren.

Im Jahr 1930 habilitiert sich Mathilde Hertz mit ihrem Werk *Die Organisation des optischen Feldes bei der Biene* – als eine der wenigen Frauen in Deutschland. Der Gutachter Wolfgang Köhler lobt „die außerordentliche Begabung von Frl. Hertz“ und den Stellen-

JÜDISCHE ALLGEMEINE VOM 4. Januar 2008



Der Präsident der Kaiser-Wilhelm-Gesellschaft und die unbestrittene Autorität der deutschen Wissenschaft, Max Planck, setzte sich für sie ein. So erklärte er, Frau Hertz sei aufgrund ihrer Herkunft als „Arierin“ zu klassifizieren, nicht ohne zu erwähnen, dass die Entlassung der Tochter des berühmten Physikers im Ausland einen ungünstigen Eindruck machen würde.

wert ihrer Forschung: „Mit jeder ihrer Arbeiten ist die Tierpsychologie, zugleich aber auch die allgemeine Gestaltpsychologie um einen wichtigen Schritt vorangekommen.“

Daraufhin wird ihr die uneingeschränkte Lehrbefugnis für Zoologie erteilt. Als Privatdozentin hält sie zwischen 1930 und 1933 mehrere Vorlesungen an der Berliner Friedrich-Wilhelms-Universität. Am Kaiser-Wilhelm-Institut leitet sie Kolloquien, forscht und betreut Mitarbeiter und Doktoranden. Mathilde Hertz, so scheint es, hat eine glänzende Karriere vor sich.

Dann erhält sie einen Brief: „An Fräulein Dr. Mathilde Hertz in Zehlendorf, Andrézeile 69 – Aufgrund von §3 des Gesetzes zur Wiederherstellung des Berufsbeamtentums vom 7. April 1933 entziehe ich Ihnen hiermit die Lehrbefugnis an der Universität Berlin“, heißt es in dem Schreiben, das ihr am 2. September 1933 vom Preußischen Minister für Wissenschaft, Kunst und Volksbildung zugestellt wird. Ein „Sachverständiger für Rasseforschung“ hat sie als nichtarisch eingestuft.

Weil das neue Berufsbeamtengesetz auch innerhalb der Kaiser-Wilhelm-Gesellschaft gilt, ist Mathilde Hertz gleich zweifach betroffen: An ihrem Forschungsinstitut wird ihr ebenfalls gekündigt. Anders als an der Universität hat sie dort jedoch einen prominenten Fürsprecher: Max Planck, der Präsident der Kaiser-Wilhelm-Gesellschaft, engagiert sich für sie.

In einem Schreiben an den Reichsminister des Inneren verweist er auf „dringende Rücksichtnahmen der Verwaltung“ und argumentiert, „es würde auch im Inlande wie im Auslande dank-

bar anerkannt werden, wenn die Tochter von Heinrich Hertz, dem allein wir die Entdeckung der drahtlosen Welle verdanken, ihre wissenschaftliche Arbeit fortsetzen könnte.“ Die Antwort fällt überraschenderweise positiv aus: Mathilde Hertz darf am Institut bleiben.

Für sie selbst bedeutet das lediglich einen Aufschub. Die Zustände in Deutschland setzen ihr derart zu, dass sie sich ein Jahr später entschließt, nach England auszuwandern. Im Januar 1936 richtet sie sich am Researcher Department of Zoology der Cambridge University ihren neuen Arbeitsplatz ein. Sie zieht in ein kleines Reihenhaus in der St. Margaret's Road 3, Girton, Cambridge. Ein halbes Jahr später folgen ihre Mutter und ihre vier Jahre ältere Schwester, die Kinderärztin Johanna Hertz.

Die Arbeitsbedingungen an Mathilde Hertz' neuer Forschungsstätte sind günstig. Trotzdem geht ihre Produktivität rapide zurück. Um 1939/40 stellt sie ihre Arbeit ganz ein und nimmt sie nie wieder auf. Warum sie die Wissenschaft aufgibt, ist bis heute nicht geklärt. Auslöser mögen schwere familiäre Probleme wie der Tod der Mutter und eine psychische Erkrankung der Schwester gewesen sein, die später sogar in einer Anstalt leben muss. Mathilde Hertz beschreibt sich selbst im Jahr 1942 als „krank und auch zukünftig unfähig zu wissenschaftlicher Arbeit“. Sie leidet unter ihrer Emigration und besonders darunter, dass Deutschland und England im Krieg liegen.

Die folgenden Jahre verbringt Mathilde Hertz in ärmlichen Verhältnissen: „Der Besuch hat mich sehr traurig gemacht. Hier lebt die Tochter eines der Grossen in der Wissenschaft, armselig und zurückgezogen, abhängig von der Wohltaetigkeit eines fremden Volkes“, schreibt ein Besucher im Jahr 1956. Die alte Dame wohne ganz zurückgezogen in zwei Zimmerchen und sei auf einem Auge fast blind, berichtet er. Sie sei zu stolz, Geld anzunehmen, nur weil sie die Tochter von Heinrich Hertz ist.

Der Physiker und Nobelpreisträger Max von Laue setzt sich daraufhin für sie ein – erfolgreich: Sie erhält eine bescheidene Rente und eine Wiedergutmachung, da sie es unter anderen politischen Verhältnissen in Deutschland wohl zur außerordentlichen Professorin gebracht hätte. Mathilde Hertz stirbt mit 84 Jahren in Cambridge und wird neben ihrem Vater im Familiengrab auf dem Olsdorfer Friedhof in Hamburg beerdigt.

Erschienen sind von ihr mehr als 30 wissenschaftliche Publikationen, die alle zwischen 1925 und 1935 entstanden. Und auch als Künstlerin hat Mathilde Hertz ihre Spuren hinterlassen: Im Ehrensaal des Deutschen Museums steht eine Marmorbüste ihres Vaters, gefertigt nach ihren Entwürfen.



Ausgefeilte Mechanismen

Matías Dewey, Caspar Dohmen, Nina Engwicht, Annette Hübschle, **Schattenwirtschaft**,
Die Macht der illegalen Märkte

173 Seiten, Verlag Klaus Wagenbach, Berlin 2019, 20,00 Euro

Sollte eine Familie bestraft werden, weil sie eine Pflegehilfe unter der Hand beschäftigt? Sollte ein verbotener Textilbasar geräumt werden, obwohl er für die Händler die einzige Überlebenschance ist? Eine genaue Abgrenzung zwischen legalen und illegalen Geschäften ist schwierig. Solche Märkte sind vor allem in Ländern Alltag, die weit weg liegen. Das Buch *Schattenwirtschaft* nimmt diese ferne Welt genau unter die Lupe. Es bietet einen tiefen Einblick und zeigt anschaulich, dass illegale Märkte der legalen Wirtschaft sehr ähneln.

Ein Team um Matías Dewey, Nina Engwicht und Annette Hübschle am Max-Planck-Institut für Gesellschaftsforschung in Köln hat illegale Märkte in Argentinien (Markenpiraterie), Sierra Leone (Diamantenabbau) und im südlichen Afrika (Nashornhandel) untersucht. Zusammen mit dem Journalisten Caspar Dohmen beschreiben die Forscher umfassend ihre Erkenntnisse. Es sei sehr wichtig, die Schattenwirtschaft zu verstehen, denn „Informalität findet nicht am Rande, sondern im Zentrum der Gesellschaft statt: Formelle Märkte schaffen die Bedingungen für informelle Arbeit.“

Um zu erfassen, welche Bedeutung diese Märkte für die Beteiligten haben, müsse der gesellschaftliche und historische Kontext betrachtet werden, betonen die Autoren. Oft ist es notwendig, illegal zu arbeiten, um zu überleben. In Sierra Leone etwa fehlen legale Jobs, weil die Bevölkerung zu stark gewachsen ist. Selbst wenn jemand eine legale Tätigkeit ausübt, reicht

das Einkommen häufig nicht aus, um notwendige Grundnahrungsmittel zu kaufen. Deshalb müssen die Menschen zum Beispiel illegal Diamanten schürfen.

Die Autoren erzählen viele solcher Lebensgeschichten. Diese zeichnen das Buch aus, denn sie lassen die Leserinnen und Leser in die Welt der Schattenmärkte eintauchen. Immer tiefer steigen die Autoren in das Thema ein und beantworten Fragen, wie: Was ist ein Schattenmarkt? Wie leben die Menschen in den jeweiligen Ländern? Wie beeinflussen dortige Staaten die Marktentstehung?

Die Basis für die wieder wachsenden Schattenmärkte bilden hauptsächlich Menschen, die in der Globalisierung verloren haben. Ein Beispiel sind die Sweatshops in Argentinien. Die globale Textilproduktion verschob sich nach Asien, und viele Argentinier wurden arbeitslos. Also eröffneten sie zunächst vorübergehend illegale Betriebe, die aber inzwischen zur Normalität geworden sind. Denn die Produzenten können weiterhin Waren verkaufen und mit den niedrigen Preisen der asiatischen Importe konkurrieren. Und die Käufer müssen weniger von ihrem ohnehin geringen Lohn ausgeben.

Es existieren viele Unsicherheiten in Schattenmärkten, die teilweise durch ausgefeilte Mechanismen kompensiert werden. Einerseits drohen beispielsweise Auftraggeber den Wilderern, die ein Nashorn erlegen sollen, Gewalt an. Aber diese wird selten angewandt, um nicht auf die illegalen Geschäfte aufmerksam zu machen. Andererseits regeln persönliches Vertrau-

en und schriftlich festgehaltene Bestimmungen den Umgang mit Marktteilnehmenden. So haben die Händler in Sierra Leone vereinbart, dass ein Diamant durch die Hände mehrerer Zwischenhändler geht, bevor er exportiert wird. Dadurch haben die Verkäufer ein zwar kleineres, dafür aber regelmäßiges Einkommen.

Angesichts der prekären Umstände in illegalen Märkten plädieren die Autoren für Verbesserungen. Sie empfehlen unter anderem, die Arbeitenden zu stärken, beispielsweise durch neue Organisationsstrukturen wie Fair Trade oder durch Aus- und Weiterbildung. Allerdings sind viele dieser Lösungen nur schwer umsetzbar, wenn der jeweilige Staat nicht eingreift oder breite Bürgerbewegungen fehlen. Es ist daher langwierig, Verbesserungen überhaupt anzustoßen.

Auch wenn die Autoren in diesen Vorschlägen selten explizit den globalen Norden erwähnen, ist der Bezug doch deutlich spürbar. Die Praktiken von Konzernen, Konsumenten oder Hilfsorganisationen – auch aus Europa – schaffen die Bedingungen für illegale Märkte, aber sie können die Verhältnisse auch verbessern. Somit betreffen Schattenwirtschaften uns unmittelbar. Dieser letzte, indirekte Appell an unsere Verantwortung, die detaillierten Lebensgeschichten sowie allgemein verständliche Erläuterungen machen das Buch *Schattenwirtschaft* lesenswert.

Annika Eßmann



Viele Arme, viel Grips

Heinz Krimmer, **Aliens der Ozeane**, Neun Gehirne und drei Herzen – die bizarre Welt der Tintenfische

208 Seiten, Franckh Kosmos Verlag, Stuttgart 2019, 25,00 Euro

Die meisten Menschen kennen Tintenfische in erster Linie als Calamares fritos. Unfrittiert wären die fremdartigen Wesen mit den vielen Tentakeln wohl zu unappetitlich. Nach der Lektüre des Buchs von Heinz Krimmer weiß man aber zumindest, was man da eigentlich auf dem Teller hat.

Wie der Titel vermuten lässt, ist das Buch des Journalisten und passionierten Tauchers kein trockenes Biologiebuch über die zu den Kopffüßlern zählenden Kraken, Tintenfische und Kalmare. Der Autor stellt vielmehr all die faszinierenden und manchmal auch abstoßenden Merkwürdigkeiten der Tiere heraus. Diese gehören nicht nur zu einer uralten und einst ungemein erfolgreichen Tiergruppe – die unzähligen bis heute als Fossilien erhaltenen Ammoniten zeugen davon. Ihr Körperbau ohne eindeutiges Vorder- und Hinterteil wirkt ebenso fremdartig wie ihr Sexleben, das oft mit dem Tod endet. Kannibalismus ist genauso an der Tagesordnung wie Massensterben.

Ein hervorstechendes Merkmal mancher Tintenfische ist ihre Intelligenz. Ihre Geistesleistungen verblüffen Wissenschaftler immer wieder. Seinen vermeintlichen Fußballverstand verdankte der Krake Paul, der 2010 den Ausgang des WM-Endspiels vorhersagte, dagegen dem bloßen Zufall. Nichtsdestotrotz besitzen die Tintenfische von allen Weichtieren die größten Gehirne. Warum sich ausgerechnet in der Verwandtschaft von Schnecken und Muscheln so große Denkgorgane herausgebildet haben, ist bis heute ein Rätsel. Eine Vermutung lautet, dass die Koordination der vielen Arme mehr Gehirnschmalz erfordert.

Bei all den manchmal abstoßenden Praktiken haben die Tintenfische einen ausgesprochen sympathischen Zug: Sie setzen zu ihrer Verteidigung ausnahmslos auf friedfertige Mittel. Mögliche Waffen in Form von Schnäbeln, Giften oder Haken bleiben im Depot, stattdessen agieren sie voll und ganz defensiv. Die einen verspritzen Wolken aus Tinte, um sich dahinter aus dem Staub zu machen, andere gleichen ihre Hautfarbe dem Untergrund an und werden so förmlich unsichtbar.

Dabei hätten sie allen Grund, aggressiv zu sein, denn sie werden in Massen gejagt und gefressen. Da sind nicht nur die schätzungsweise fünf Millionen Tonnen, die der Mensch jedes Jahr aus dem Meer fischt – einen beträchtlichen Teil davon als unbeabsichtigten Beifang. Die mit weitem Abstand größten Feinde der Kopffüßler aber sind Zahnwale: 150 Millionen Tonnen landen jährlich im Magen von Pottwalen und Delfinen.

Angesichts solcher Zahlen setzt sich langsam die Erkenntnis durch, in welcher unglaublichen Menge Tintenfische die Ozeane bevölkern – vor allem in der wenig erforschten Dämmerlichtzone zwischen 200 und 1000 Metern Tiefe. Wissenschaftler vermuten inzwischen, dass der Meeresboden in manchen Ozeangebieten regelmäßig von toten Kalmaren bedeckt ist, wenn die Tiere nach erfolgreicher Fortpflanzung in Massen sterben. Für die Bewohner der Tiefsee sind Tintenfische damit eine der wichtigsten Nahrungsquellen.

Das Buch konzentriert sich vor allem auf die Highlights aus dem Leben der Tin-

tenfische: die verquere Anatomie, Jagd- und Sexualverhalten, das Leben in der Dunkelheit, die Mythen von Monstern aus der Tiefsee. Die Texte sind flott geschrieben und erzählen immer wieder schöne Geschichten und Anekdoten rund um die Kopffüßler. Die vielen prachtvollen Bilder verleihen dem Buch fast den Charakter eines Bildbandes. Wer ein detaillierteres Wissen über diese Tiere gewinnen möchte, wird dagegen nicht ganz auf seine Kosten kommen. Für ein Buch dieses Umfangs sind die Tintenfische dann doch zu vielfältig.

Trotz Klimaerwärmung, Überfischung und Ozeanvermüllung erscheint Heinz Krimmer die Zukunft der Tintenfische gar nicht so düster. Sie könnten seiner Meinung nach sogar zu den Gewinnern zählen. Sie profitieren davon, dass der Mensch ihre natürlichen Feinde wie Haie und andere Fische dezimiert hat und dass sie ihren Lebensraum dank höherer Wassertemperaturen vergrößern können.

Trotzdem steht zu befürchten, dass es dem Menschen auch noch gelingen wird, die bisher relativ unberührten mittleren und tiefen Wasserschichten der Ozeane leer zu fischen. Und ob die Tintenfische den dadurch entstandenen Nahrungsmangel allein durch Kannibalismus ausgleichen können, wie der Autor hofft, erscheint gewagt. Aber wer weiß, vielleicht ermöglichen ihnen ihre Anpassungsfähigkeit und ihre Intelligenz ja doch ein Comeback in der Erdgeschichte.

Harald Rösch



Die Sonne am Ende der Welt

Florian Freistetter, **Eine Geschichte des Universums in 100 Sternen**

300 Seiten, Carl Hanser Verlag, München 2019, 22,00 Euro

„Weißt du, wie viel Sternlein stehen“, heißt es in einem alten Volkslied. Heute hat die Wissenschaft darauf Antworten. So etwa sind es allein in unserem Milchstraßensystem rund 200 Milliarden. Und im Grunde hat jeder Stern seine Geschichte. Florian Freistetter, Astronom, Autor und Blogger, erzählt die Geschichte von Sternen und beschränkt sich dabei auf eine Auswahl von hundert. Und dabei – das sei gleich zu Beginn erwähnt – erzählt er in flüssigem Stil sehr viel Wissenswertes über das gesamte Universum.

Die Geschichten sind unglaublich vielfältig. So beginnt das Buch mit dem Hauptstern im Bild Adler, der in unserem Kulturkreis unter dem arabischen Namen Atair bekannt ist. In Japan hingegen heißt er Hikoboshi, nach dem Kuhhirten, der mit der Weberin Orihime verknüpft wird, der Tochter des Himmelsgottes Tentei. Doch über der Liebe vergessen die beiden ihre Arbeit, sodass Tentei sie auf zwei Seiten des Himmelsflusses verbannt. Immerhin dürfen sie am 7. Tag des 7. Monats eines jeden Jahres zusammenkommen. Diese Liebesgeschichte spiegelt sich am Firmament wider: Orihime symbolisiert Wega,

die von Atair (Hikoboshi) durch die Milchstraße (Himmelsfluss) getrennt wird.

Weniger romantisch ist die Erzählung über 2MASS J18082002-5104378 B. Allein schon der Name deutet darauf hin, dass es hier um pure Wissenschaft geht. Tatsächlich ist der Stern mit der unmöglichen Bezeichnung ein roter Zwerg, der den Astronomen einen direkten Blick auf den Urknall erlaubt, mit dem das All vor 13,8 Milliarden Jahren auf die Welt kam. Der rote Zwergstern stammt offenbar aus der kosmischen Babyzeit, denn er besteht nahezu vollständig aus Wasserstoff und Helium – praktisch die einzigen Elemente, die kurz nach dem Urknall existierten. Erst später bildeten sich schwerere Stoffe und verunreinigten gleichsam die Materie der nachfolgenden Sternengenerationen.

Diese beiden Beispiele mögen die Bandbreite illustrieren, die Florian Freistetter in seinem kurzweiligen Buch beschreibt. Man erfährt sehr viel über den Kosmos, über den nächstgelegenen Fixstern Proxima Centauri ebenso wie über den fernsten namens Icarus, über Trappist-1 und sein Planetensystem, über den „Teufelsstern“ Algol und den „Stern von Bethlehem“, den

es vielleicht gar nicht gab. Aber auch das erste Bild eines schwarzen Lochs in der Galaxie M 87 hat der Autor in seine Sammlung aufgenommen, sehr bemüht, denn mit einem Stern hat die Schwerkraftfalle mit ihren sechseinhalb Milliarden Sonnenmassen nichts zu tun – sie heißt lediglich M 87* (gesprochen eben M 87 Stern).

Leider fallen die Erklärungen des Autors bei manchen Sternen unzureichend oder gar falsch aus. So hätte man etwa im Kapitel über Ras Alhague, den Hauptstern in der Konstellation Sternenträger, schon gern gelesen, dass die Differenz zwischen Tierkreissternzeichen und Tierkreissternbildern an der Präzession der Erdschse liegt. Und bei einer Supernova – dem Ende einer massereichen Sonne – spielen Neutrinos entgegen Freistetters Erklärung zum Pulsar PSR B1919+21 sehr wohl eine wichtige Rolle. Sie entstehen in großer Zahl und scheinen, so haben unter anderem Max-Planck-Astronomen herausgefunden, die Explosion des Sterns überhaupt erst anzutreiben. Im Buch liest sich das jedoch so, als hätten die Neutrinos keine Funktion außer jener, „einen großen Teil der Energie zu enthalten“.

Helmut Hornung

Weitere Empfehlungen

- Mischa Meier, **Geschichte der Völkerwanderung**, Europa, Asien und Afrika vom 3. bis zum 8. Jahrhundert n.Chr., 1532 Seiten, C. H. Beck, München 2019, 58,00 Euro
- Friederike Otto, **Wütendes Wetter**, Auf der Suche nach den Schuldigen für Hitzewellen, Hochwasser und Stürme, 240 Seiten, Ullstein Buchverlage, Berlin 2019, 18,00 Euro

Standorte

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

Niederlande

- Nimwegen

Italien

- Rom
- Florenz

USA

- Jupiter, Florida

Brasilien

- Manaus

Luxemburg

- Luxemburg



MAX PLANCK
GESELLSCHAFT



Impressum

MAXPLANCKFORSCHUNG 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
Telefon: 089 2108-1719 / -1276 (vormittags)
E-Mail: mpf@gv.mpg.de
Internet: www.mpg.de/mpforschung
Kostenlose App: www.mpg.de/mpf-mobil

Verantwortlich für den Inhalt

Dr. Christina Beck (-1276)

Redaktionsleitung

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

Redaktion

Dr. Elke Maier (Biologie, Medizin; -1064)
Dr. Harald Rösch (Biologie, Medizin; -1756)
Mechthild Zimmermann (Kultur, Gesellschaft; -1720)

Bildredaktion

Susanne Schauer (-1562)
Annabell Kopp

Gestaltung

Julia Kessler, Sandra Koch
Voßstraße 9
81543 München
Telefon: 089 27818770
E-Mail: projekte@designergold.de

Litho

KSA Media GmbH
Zeuggasse 7
86150 Augsburg

Druck & Vertrieb

Vogel Druck- & Medienservice GmbH
Leibnizstraße 5
97204 Höchberg

Anzeigenleitung

Beatrice Rieck
Vogel Druck- & Medienservice GmbH
Leibnizstraße 5
97204 Höchberg
Telefon: 0931 4600-2721
E-Mail: beatrice.riek@vogel-druck.de

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

Die **Max-Planck-Gesellschaft** zur Förderung der Wissenschaften e.V. unterhält 86 Institute und Forschungseinrichtungen, in denen rund 23 400 Personen forschen und arbeiten, davon etwa 6 700 Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler. Der Jahresetat 2018 umfasste insgesamt 1,8 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.

MAXPLANCKFORSCHUNG wird auf Papier aus vorbildlicher Forstwirtschaft gedruckt und trägt das Siegel des Forest Stewardship Council® (FSC®)



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

Forschung leicht gemacht.

Schafft die Papierstapel ab!

Das Magazin der Max-Planck-Gesellschaft
als ePaper: www.mpg.de/mpf-mobil

Internet: www.mpg.de/mpforschung

Kostenlos
downloaden!



MAX PLANCK
GESELLSCHAFT

