

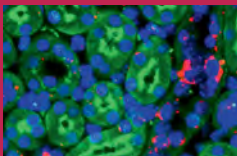
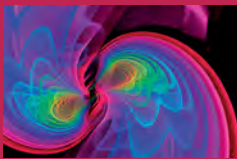
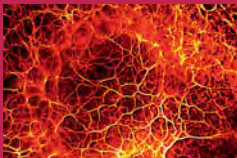
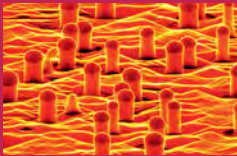


Migration

NANOTECHNIK

Biomoleküle – in Szene gesetzt

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



Foto: ESO / B. Tafreshi

Kalter Kosmos

In 5100 Meter Höhe über dem Meeresspiegel ist die Luft dünn und staubtrocken – Eigenschaften, die Astronomen außerordentlich schätzen. Dort oben stört der dichte Luftozean der Erdatmosphäre mit seinem ansonsten beträchtlichen Wassergehalt die Beobachtungen nur mehr wenig. So kommen die Forscher den Sternen in der Ödnis deutlich näher. Daher haben sie auf der Hochebene Chajnantor in den chilenischen Anden eine Antenne gebaut, die den Namen *Atacama Pathfinder Experiment* trägt, abgekürzt APEX. Die 12-Meter-Schüssel empfängt Strahlung im Millimeter- und Submillimeterbereich an der Grenze zwischen Infrarotlicht und Radiowellen.

Derzeit bringen Astronomen und Techniker das Teleskop auf den neusten Stand. Herzstück der Hightech-Maschine wird eine Kamera sein, die mit rund 25 000 Pixeln konkurrenzlos empfindliche Durchmusterungen des Himmels ermöglichen soll. 25 000 Pixel ist immer noch wenig im Vergleich zu einer Kamera, wie sie etwa in einem Smartphone steckt. Doch die Detektoren arbeiten bei einer Temperatur von minus 272,85 Grad, also knapp über dem absoluten Nullpunkt. Das Gesichtsfeld der Kamera entspricht der halben scheinbaren Größe des Vollmonds.

Apropos Mond: Das Einsatzgebiet von APEX erstreckt sich weit über das Sonnensystem hinaus. Das Teleskop erkundet vorwiegend kühle Regionen, vor allem Molekülwolken im interstellaren Raum. In diesen kosmischen Kreißsälen werden aus Gas und Staub neue Sterne geboren; diese stellaren Embryos sind im optischen Licht meist unsichtbar, mit APEX hingegen lassen sich die physikalischen und chemischen Eigenschaften der Wolken gut untersuchen. Auch die entferntesten und damit jüngsten Galaxien stehen im Fokus, denn deren Licht wurde aufgrund der Expansion des Weltalls gedehnt und in den Submillimeter- oder Millimeterbereich des Spektrums verschoben.

Die APEX-Partner sind das Max-Planck-Institut für Radioastronomie (MPIfR), das schwedische Onsala Space Observatory (OSO) und die Europäische Südsternwarte (ESO), die das Teleskop im Auftrag des Konsortiums betreibt. Kürzlich wurde die Fortsetzung der Zusammenarbeit bis Ende 2022 beschlossen. So wird die Schüssel auf der chilenischen Hochebene auch in den nächsten Jahren tiefe Einblicke in den kalten Kosmos liefern.



Inhalt



10 Im Eck: Schon immer wurden Menschen an den Pranger gestellt. Öffentlichkeit ist dabei ein wichtiger Faktor.

18 MIGRATION

18 Jedes Zimmer eine Kultur für sich

Zahlreiche Flüchtlinge suchen in Deutschland Zuflucht oder eine neue Heimat. Ein Projekt am Max-Planck-Institut zur Erforschung multireligiöser und multiethnischer Gesellschaften untersucht, welche Bedürfnisse und Ziele die Flüchtlinge haben und wie der Start ins neue Leben klappt.

26 Am Rande

Wer ausgeschlossen ist, wird leicht übersehen. Auch die Forschung hat das Phänomen Exklusion bisher kaum beachtet. Sechs Max-Planck-Institute haben sich nun des Themas angenommen und untersuchen gemeinsam die Ausgrenzung von Migranten. Ihr Ziel: Exklusion sichtbar machen und faire Regeln für Migration erarbeiten.

34 Modell für mehr Miteinander

Die Convivencia gilt als Epoche friedlichen Zusammenlebens von Muslimen, Juden und Christen im mittelalterlichen Spanien. Forscher der Max-Planck-Institute für ethnologische Forschung und für Wissenschaftsgeschichte hinterfragen den Mythos der Ära und ihre Vorbildfunktion für die heutige Zeit.

ZUM TITEL Es ist nur ein Pass mit gestempelten Seiten – aber die entscheiden, wer in ein Land einreisen darf. So regelt die Bürokratie in erster Instanz, wer kommen kann und wer draußen bleiben soll. Doch Migration gehorcht oft anderen Gesetzen, wenn Menschen auf der Flucht oder auf der Suche nach einem besseren Leben sind. Die Wissenschaft untersucht das Phänomen, hinterfragt die Regeln und erkundet die Bedingungen für ein friedliches Zusammenleben verschiedener Kulturen.

PERSPEKTIVEN

- 06** Zusätzliche Stellen für exzellente Wissenschaftlerinnen
- 06** Lizenz für besseres Textverständnis
- 07** „Zivilcourage ist überall nötig“
- 08** Doppelte Partnerschaft mit Harvard
- 08** Viermal erfolgreich
- 09** Amazon kommt ins Cyber Valley
- 09** Ins Netz gegangen

ZUR SACHE

- 10** **Die Macht der Demütigung**
Rituale der Erniedrigung dienten zu allen Zeiten dazu, Autorität auszuüben. Doch die moderne Gesellschaft hat neue Methoden entwickelt, Außenseiter öffentlich zu brandmarken, wie unsere Autorin darlegt.

FOKUS

- 18** Jedes Zimmer eine Kultur für sich
- 26** Am Rande
- 34** Modell für mehr Miteinander

BIOMAX

Der Ursprung des Lebens
– oder wie Einzeller
zu kooperieren lernten



48 Im Tunnel: Elektronen flitzen am DESY über eine 3,4 Kilometer lange Strecke und erzeugen Röntgenblitze.



56 Im Gelände: Hausmäuse sind Meister der Anpassung. Sie leben in Steppen ebenso wie auf tropischen Inseln.



64 Im Versuch: Der Nanosensor erfordert – anders als sein Name suggeriert – einen großen experimentellen Aufbau.

SPEKTRUM

- 42** Schön traurig
- 42** Das Rezept für einen Kometen
- 43** Bakterien statt Labortiere
- 43** Rache ist süß
- 43** Stoppsignale im Gehirn
- 44** El Niño verstärkt den Treibhauseffekt
- 44** Gravitationswellen von Neutronensternen
- 45** Licht macht Algen klebrig
- 45** Flug in den Süden lohnt sich
- 45** Tiefer Blick ins Innere der Sonnen
- 46** An die Leine!
- 46** Sand ist ein Paradies für Bakterien
- 46** Weniger Dünger reduziert den Feinstaub
- 47** Mehr soziale Kompetenz, weniger Stress
- 47** Fasern, aus Schleim gesponnen

PHYSIK & ASTRONOMIE

- 48 Kristalle unter Kontrolle**
Materialeigenschaften mit Licht wie mit einem Zauberstab schalten: Das ist das Ziel von Forschern am Max-Planck-Institut für Struktur und Dynamik der Materie. Sie verändern mit Lasern das Verhalten von Kristallen und erzeugen für kurze Zeit Supraleiter.

BIOLOGIE & MEDIZIN

- 56 Eine Maus beißt sich durch**
Wo es Menschen gibt, leben auch Mäuse. Für Wissenschaftler am Max-Planck-Institut für Evolutionsbiologie liegt es also nahe, die kleinen Nager als Modellsystem für die Arbeitsweise der Evolution zu erforschen.

MATERIAL & TECHNIK

- 64 Biomoleküle – in Szene gesetzt**
Bisher gab es keine Methode, um zu verfolgen, wie Enzyme und andere Biomoleküle im Detail arbeiten. Einer Gruppe am Max-Planck-Institut für die Physik des Lichts gelingt nun genau das – mit einem plasmonischen Nanosensor.

UMWELT & KLIMA

- 72 Im Wald verwurzelt**
Zur Person: Henrik Hartmann

RUBRIKEN

- 03 Orte der Forschung**
- 16 Post aus – der Irischen See**
Den Naturgewalten zum Trotz
- 80 Rückblende**
Atome spalten im Bierkeller
- 82 Neu erschienen**
- 82** Andreas Müller,
10 Dinge, die Sie über Gravitationswellen wissen wollen
- 82** Rüdiger Vaas,
Signale der Schwerkraft
- 82** Harald Lesch (Hrsg.),
Die Entdeckung der Gravitationswellen
- 83** Govert Schilling, Einsteins Ahnung
- 84** Ilona Jerger, Und Marx stand still in Darwins Garten
- 85** Thorsten Dambeck, Planetenwelten
- 86** Ernst Peter Fischer,
Treffen sich zwei Gene
- 87 Standorte**
- 87 Impressum**

Zusätzliche Stellen für exzellente Wissenschaftlerinnen

Neues Programm bietet herausragend qualifizierten Nachwuchsforscherinnen eine langfristige Perspektive



Mit dem Lise-Meitner-Exzellenzprogramm verstärkt die Max-Planck-Gesellschaft ihr Engagement, um exzellente Frauen in ihrer wissenschaftlichen Karriere zu fördern. Ab Frühjahr 2018 werden jährlich bis zu zehn zusätzliche Max-Planck-Forschungsgruppen für Wissenschaftlerinnen ausgeschrieben. Die Stellen werden über einen mehrstufigen Auswahlprozess in enger Rückkoppelung mit interessierten Max-Planck-Instituten besetzt. Die Leiterinnen bekommen einen auf fünf Jahre befristeten W2-Vertrag. Zusätzlich erhalten sie die Möglichkeit, an einem Tenure-Track-Verfahren teilzunehmen, das nach einer umfassenden Begutachtung eine unbefristete W2-Stelle mit Gruppenausstattung sichert. „Mit dem neuen Programm bieten wir einzigartige Chancen“, betont Max-Planck-Präsident Martin Stratmann: „Freie wissenschaftliche Entfaltung, langfristige berufliche Sicherheit und klare Karriereperspektiven. Ich bin davon überzeugt, dass wir auf diese Weise auch zukünftige Direktorinnen gewinnen können.“ Die Max-Planck-Gesellschaft investiert bis 2022 mehr als 30 Millionen Euro, um bessere Perspektiven für Wissenschaftlerinnen zu schaffen.

Türöffner für Talente: Mit dem Lise-Meitner-Exzellenzprogramm möchte die Max-Planck-Gesellschaft den Pool an exzellenten Forscherinnen erhöhen.

Lizenz für besseres Textverständnis

Ausgründung aus dem Max-Planck-Institut für Informatik entwickelt Technologie zur maschinellen Erfassung von Informationen

Texte korrekt zu verstehen, ist für Computer nach wie vor eine Herausforderung. Denn sie enthalten häufig mehrdeutige Begriffe, die schwer zu interpretieren sind. Menschen können zum Beispiel den Sinn der Aussage „Nach Verletzung kein Neuer in Sicht“ anhand des Kontextes erschließen. Ein informierter Leser erkennt, dass es sich um Nationaltorhüter Manuel Neuer handelt, dessen Verletzung Probleme für seinen Verein und die deutsche Fußballnationalmannschaft mit

sich bringt. Für Maschinen sind solche Interpretationen bisher kaum zu leisten – und wären doch essenziell für eine umfassende Nutzung von digitalen Inhalten.

Um dieses Problem zu lösen, haben Forscher am Max-Planck-Institut für Informatik in Saarbrücken die Wissensbasis Yago erstellt. Die semantische Datenbank mit mehr als zehn Millionen Entitäten (Namen, Organisationen, Städte und Ähnlichem) ist so etwas wie ein Lexikon für Maschinen. Das Unter-

nehmen Ambiverse, eine Ausgründung aus dem Max-Planck-Institut, hat daraus eine intelligente Softwarelösung für die automatische und akkurate Erkennung und Interpretation von mehrdeutigen Wörtern und Phrasen in Texten entwickelt. Ziel von Ambiverse ist, die Such- und Analysewerkzeuge auf die Bedürfnisse von Firmen zuzuschneiden, damit diese Daten aus Nachrichtenarchiven, Unternehmensdokumenten und Produktreviews elektronisch besser auswerten können.

„Zivilcourage ist überall nötig“

Anna Baumert untersucht, welche Persönlichkeitsmerkmale mutiges Einschreiten bei Unrecht ermöglichen

Zivilcourage genießt hohes Ansehen. Doch warum zögern wir so oft, uns für Gerechtigkeit einzusetzen? Und wie unterscheiden sich die Zivilcouragierten von den anderen? Gemeinsam mit ihrem Team sucht Anna Baumert, Leiterin der Max-Planck-Forschungsgruppe „Zivilcourage“ am Max-Planck-Institut zur Erforschung von Gemeinschaftsgütern in Bonn, Antworten auf diese Fragen. Sicher ist: Kluges und hilfsbereites Eingreifen kann man überall lernen – auch im Kleinen.

Frau Baumert, über Zivilcourage wird vor allem in der Presse oft sensationsheischend berichtet. Was ist Ihr Fokus?

Anna Baumert: Uns geht es um Grundlagenforschung. Wir untersuchen Situationen, in denen jemand Unrecht tut, Regeln bricht oder sich unmoralisch verhält – und die von einem Dritten beobachtet werden. Die psychologischen Prozesse und Mechanismen, die darüber entscheiden, ob jemand gegen einen Täter eingreift, sind vermutlich anders als beispielsweise die Prozesse, die entscheiden, ob jemand einem fremden Menschen hilft.

Wie couragiert sind wir Menschen denn?

Wenn Unrecht geschieht, greifen viel weniger Leute ein, als angenommen. Ich will mich selbst nicht ausnehmen. Ich würde mir wünschen, dass ich, wenn ich in eine brenzlige Situation komme, bereit bin, auf effektive Art zu intervenieren. Aber die Forschung bestätigt: Bloß weil ich denke, dass ich eingreifen würde, ist das real nicht unbedingt der Fall. Wir haben Teilnehmern eine Situation beschrieben, und wir haben sie in die tatsächliche Situation gebracht. Es wurde deutlich, dass es sehr große Diskrepanzen zwischen dem Vorhaben einzugreifen und dem tatsächlichen Eingreifen gibt. Viele Menschen überschätzen ihre Handlungsbereitschaft oder -fähigkeit.

Es gibt aber immer wieder Menschen, die in schwierigen Situationen eingreifen. Was macht sie aus?

Darüber haben wir bisher nur Vermutungen. Zunächst einmal geht es um eine moralische Disposition. Wie aufmerksam ist

eine Person gegenüber moralischen Themen? Wie wichtig sind ihr moralische Prinzipien? Wie stark tendiert sie dahin, mit negativen Emotionen zu reagieren, wenn sie Ungerechtigkeiten oder Unmoralisches erlebt? Zudem geht es um Impulsivität: Wie stark ist der Impuls, bei bestimmten Situationen sofort eingreifen zu müssen? Darüber hinaus spielt wohl auch die Bereitschaft eine Rolle, erlernte gesellschaftliche Regeln zu brechen. Die meisten von uns haben gelernt, sich kontrolliert zu verhalten, ihre Emotionen zu regulieren und andere Leute in Ruhe zu lassen.

Diese gesellschaftlichen Normen sorgen dafür, dass viele nicht eingreifen?

Genau das ist unsere Vermutung. In Situationen, in denen es einen Täter gibt, den man aufhalten könnte, muss man erst einmal gegen viele erlernte Konventionen verstoßen. Das ist nicht so einfach.

Oft ist zudem nicht ersichtlich, ob das eigene Eingreifen berechtigt ist oder nicht.

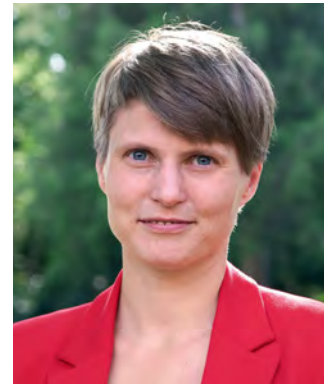
Bei zivilcouragiertem Handeln besteht zweifellos die Gefahr, jemanden fälschlicherweise zu beschuldigen – und sich damit selbst in eine peinliche Situation zu bringen. Einschreiten kann genauso ein Fehler sein wie Nichteingreifen. Man muss sich letztlich fragen, welche Folgen welcher „Fehler“ hat.

Muss ich mich schlecht fühlen, wenn ich nicht eingreife?

Aus psychologischer Perspektive gibt es viele Hindernisse, die das Nichteingreifen verständlich machen. Jeder sollte sich jedoch klarmachen, dass das eigene Verhalten Konsequenzen für das Verhalten anderer hat. Wenn man selbst inaktiv bleibt, erhöht dies das Risiko, dass auch andere das gleiche Verhalten zeigen. Man muss jede Situation abwägen. Wir empfehlen, nicht immer unmittelbar dazwischenzugehen. Sonst bringt man sich selbst in höchste Gefahr.

Was sollte man tun, wenn es brenzlich wird?

Im Grunde das, was auch die Polizei empfiehlt: andere Leute ansprechen und sie auf die Ungerechtigkeit hinweisen. Man



Anna Baumert

sollte Allianzen schmieden und Hilfe holen und anschließend als Zeuge zur Verfügung stehen.

Sie möchten mit Ihrer Studie eine Charakterologie der mutigen Helfer entwickeln. Was ist Ihr Ansatz?

Für unsere Studie laden wir Personen ein, die in der Vergangenheit Zivilcourage gezeigt haben. Das sind zum einen Menschen, die für ihre Taten in Deutschland ausgezeichnet wurden. Zudem haben wir einen allgemeinen Aufruf gestartet. Die Teilnehmer müssen als Außenstehende Unrecht erlebt und in irgendeiner Form eingegriffen haben. Alle, auf die das zutrifft, erhalten von uns einen Fragebogen, der aus zwei Teilen besteht und online bearbeitet werden kann. Die Auswertung ist anonym.

Es gibt Trainingsschulen für Zivilcourage.

Kann jeder lernen, sich couragiert zu verhalten? Das ist sehr individuell. Die Schulen sind gut und hilfreich. Ich bin sicher, die Befunde unserer Forschung können auch für diese Trainings relevant sein. Allerdings geht es nicht nur um den großen Konfliktfall. Zivilcourage ist überall nötig – in Schulen, in der Nachbarschaft oder auch am Arbeitsplatz. Es gibt viele kleine Situationen, in denen man gegen Unrecht einschreiten kann. Man kann überall lernen, gegenüber Ungerechtigkeiten aufmerksamer zu werden.

Interview: Martin Roos

Link zur Studie:

 www.coll.mpg.de/studie_persoennlichkeit

Doppelte Partnerschaft mit Harvard

Max-Planck-Gesellschaft startet zwei neue Kooperationsprojekte mit führender US-Universität

Max-Planck-Wissenschaftler arbeiten auf vielen Gebieten eng mit ihren Kollegen an US-amerikanischen Eliteuniversitäten zusammen. Zwei Kooperationen wurden nun auf eine institutionelle Basis gestellt. Im Oktober 2017 fiel der Startschuss für ein neues Zentrum zur Erforschung des antiken Mittelmeerraums. Im Fokus des *Max Planck – Harvard Research Center for the Archaeoscience of the Ancient Mediterranean* steht vor allem die Mobilität im Mittelmeerraum im Zeitraum zwischen 1600 und 1000 vor Christus. Dort verbinden Wissenschaftler der Harvard University in Cambridge (Massachusetts) und des Max-Planck-Instituts für Menschheitsgeschichte in Jena etablierte archäologische und historische Ansätze mit neusten biotechnologischen Methoden.

Im Januar startete das *Max Planck Harvard Research Center for Quantum Optics*. Hundert Jahre nach der Entdeckung der Quantennatur von Licht und Materie durchläuft die Quantenphysik gerade eine Art Revolution: Neue Techniken schaffen die Grundlagen für wesentliche Erkenntnisse in der Teilchenphysik ebenso wie für neuartige Geräte wie den Quantencomputer. Das gemeinsame Zentrum des Max-Planck-Instituts für Quantenoptik in Garching und der Harvard University bündelt Know-how und Infrastruktur der beiden Standorte und ermöglicht es, auf diese Weise ungelöste Probleme der Quantenphysik anzugehen.



Handschlag zum Start: Mark C. Elliott, Beauftragter für internationale Beziehungen in Harvard, und Max-Planck-Präsident Martin Stratmann bei der Gründungsfeier für das gemeinsame Zentrum zur Erforschung des antiken Mittelmeerraums.

Viermal erfolgreich

Jeweils zwei Max-Planck-Direktorinnen und -Direktoren werden in diesem Jahr mit dem Leibniz-Preis geehrt

136 Vorschläge lagen vor, elf Kandidaten kürte die Deutsche Forschungsgemeinschaft (DFG) für den diesjährigen Leibniz-Preis – darunter vier Max-Planck-Direktoren. Alessandra Buonanno vom Max-Planck-Institut für Gravitationsphysik in Potsdam erhält die Auszeichnung für ihre theoretischen Modelle, die es ermöglichen, die Signale der Gravitationswellen zu identifizieren und zu interpretieren. Erika L. Pearce vom Max-Planck-Institut für Immunbiologie und Epigenetik in Freiburg wird für ihre herausragenden Ar-

beiten in der Stoffwechsel- und Entzündungsforschung geehrt. Der Preis an Jens Beckert vom Max-Planck-Institut für Gesellschaftsforschung in Köln ehrt dessen Verdienste um die Erneuerung einer interdisziplinären Perspektive in den Sozialwissenschaften, vor allem im Schnittfeld von Soziologie und Wirtschaftswissenschaft. Der Vier-

te im Quartett der Max-Planck-Preisträger ist Bernhard Schölkopf vom Max-Planck-Institut für Intelligente Systeme in Tübingen. Der Informatiker hat entscheidende Beiträge zur Theorie und zum Erfolg des maschinellen Lernens geleistet. Im März wird die mit bis zu 2,5 Millionen Euro dotierte Auszeichnung in Berlin feierlich übergeben.

Die erfolgreichen Vier: Alessandra Buonanno, Jens Beckert, Erika L. Pearce und Bernhard Schölkopf (von links) erhalten den Leibniz-Preis 2018.

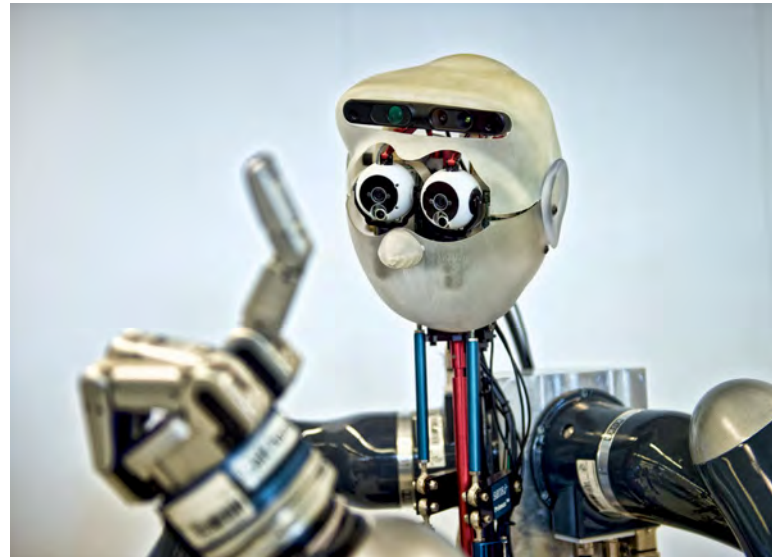


Amazon kommt ins Cyber Valley

Das Technologieunternehmen unterstützt Projekt zur künstlichen Intelligenz im Raum Stuttgart-Tübingen

Das Cyber Valley hat einen weiteren Industriepartner gewonnen: Amazon will sich an der Forschungsk Kooperation beteiligen, die auf Initiative der Max-Planck-Gesellschaft im Dezember 2016 gestartet ist. Das Technologieunternehmen plant, in den kommenden Jahren 1,25 Millionen Euro zu Forschungsgruppen in der Region Stuttgart-Tübingen beizusteuern. Darüber hinaus wird Amazon in der Nachbarschaft zum Max-Planck-Institut für Intelligente Systeme in Tübingen ein eigenes Forschungszentrum einrichten und die Zusammenarbeit mit der Max-Planck-Gesellschaft verstärken. Max-Planck-Präsident Martin Stratmann begrüßt die Entscheidung: „Wir gewinnen damit einen weiteren starken Partner, der die internationale Bedeutung der Forschung im Cyber Valley noch einmal steigern wird.“

Für das Kooperationsprojekt – eine der größten Initiativen auf dem Feld der künstlichen Intelligenz in Europa – haben sich die Max-Planck-Gesellschaft, das Land Baden-Württemberg, die Universitäten Stuttgart und Tübingen sowie Unternehmen wie BMW, Bosch, Daimler, Porsche und ZF Friedrichshafen zusammengeschlossen. Das Ziel ist, die Forschung zu intelligenten Systemen voranzutreiben und ein Umfeld für vermehrte und erfolgreiche Firmengründungen zu schaffen.



Beispielhaft im Cyber Valley: Der Roboter Apollo soll am Max-Planck-Institut für Intelligente Systeme lernen, sich autonom zu bewegen.

Ins Netz gegangen



100 Jahre alt werden – und es genießen

Das ist das Motto der Demografie-App „A Life Journey“ von Population Europe in Berlin. Neben Texten, Infografiken und Videos beinhaltet die App für iPad und iPhone auch viele Spiele, die interaktiv in das Thema demografischer Wandel einführen. So kann sich beispielsweise jeder seine mögliche Lebenserwartung berechnen lassen. Die App, die in zehn Sprachen vorliegt, wendet sich vor allem an Schüler und Lehrer, die sich demografischen Themen unterhaltsam nähern wollen. Ein Tutorial führt in die Anwendung der App ein, zusätzliche Unterrichtsmaterialien und Webinare runden das Thema ab. www.population-europe.eu/video/how-use-app-life-journey

Im Herz von Wendelstein 7-X

Mitten hinein in die Plasmakammer der Fusionsforschungsanlage Wendelstein 7-X in Greifswald führt das neue 360-Grad-Panorama auf den Internetseiten des Max-Planck-Instituts für Plasmaphysik (IPP). Auch durch die Experimenthalle kann man streifen und die Anlagen besuchen, die das Plasma auf viele Millionen Grad aufheizen. Via PC, Tablet oder Smartphone kann man Blicke in alle Winkel werfen und sich an kleinste Details heranzoomen. Per Mausklick starten und stoppen kurze Videos, in denen IPP-Wissenschaftlerinnen und -Wissenschaftler ihren Arbeitsplatz erklären; einblendbare Info-Tabellen erläutern wichtige Bauteile. Aufgenommen hat das Panorama der Münchner Fotograf Volker Steger, von dem bereits das Panorama der Garching IPP-Fusionsanlage ASDEX Upgrade stammt. www.ipp.mpg.de/panoramaw7x

Wo die Wissenschaft wohnt

Eine neue Ausstellung in der Eingangshalle des Münchner Max-Planck-Hauses zeigt Architektur, Forschungsinfrastruktur und Arbeitswelten an den Max-Planck-Instituten. Ob Labore, Bibliotheken, Gewächshäuser oder technische Großgeräte – optimale Infrastruktur ist ein entscheidender Faktor im internationalen Wettbewerb um die besten Köpfe. Darüber hinaus sind die Gebäude Lebens- und Arbeitsraum: Orte der Begegnung, der Offenheit und des Vertrauens, die Kreativität und Austausch fördern. Die Ausstellung „Wo die Wissenschaft wohnt“, die auch als Slideshow vorliegt, zeigt Fotografien aus 18 Max-Planck-Instituten: Gebäudeansichten und bauliche Details ebenso wie Momentaufnahmen aus der Forschung. www.mpg.de/video/fotoausstellung

Die Macht der Demütigung

Rituale der Erniedrigung dienten zu allen Zeiten dazu, Autorität auszuüben. Die Gerichtsbarkeit ließ Menschen am Pranger öffentlich zur Schau stellen, Lehrer machten widerborstige Schüler mit Schandmützen lächerlich. Solche Praktiken gehören zwar der Vergangenheit an. Doch die moderne Gesellschaft hat neue Methoden entwickelt, Außenseiter öffentlich zu brandmarken, wie unsere Autorin darlegt.

TEXT UTE FREVERT

Wer bei Demütigung an Pranger, Prügelstrafe und Brandmarkungen denkt, wird sich wundern: Was haben solche Praktiken, die Menschen in aller Öffentlichkeit herabwürdigten und bloßstellten, in der Moderne verloren? Tatsächlich sind sie seit etwa Mitte des 19. Jahrhunderts aus den europäischen Strafregistern verschwunden, allerdings erst nach langem Ringen und erbitterten Auseinandersetzungen.

Dass sich der Staat in Europa von solchen Demütigungspraktiken verabschiedete, bedeutet aber keineswegs, dass es sie nicht mehr gibt. Nach wie vor

**Auch hierzulande sind
Beschämungen allgegenwärtig –
vor allem im Internet**

werden Menschen öffentlich erniedrigt, lächerlich gemacht, mit Verachtung gestraft, an den virtuellen Pranger gestellt. So etwa im November 2012 in Cleveland, US-Bundesstaat Ohio, wo Shena Hardin an einer belebten Kreuzung steht, vor sich ein Schild mit der Aufschrift: „Nur eine Idiotin fährt auf dem Bürgersteig, um einen Schulbus zu überholen.“ Genau

das hat Hardin mehrfach getan, wofür eine Richterin sie zu einer Geldstrafe und zum zeitweiligen Entzug des Führerscheins verurteilt. Damit nicht genug, verhängt sie das, was Amerikaner *shame sanction* nennen: eine Ehrenstrafe, die Hardin öffentlich als Idiotin brandmarkt. Solche Sanktionen sollen strafen und disziplinieren, aber auch erziehen und bessern, ganz im Stil des 18. und frühen 19. Jahrhunderts.

Ebenfalls in den USA spielt die kurze Geschichte der 13-jährigen Izabel Laxamana. Das Mädchen springt im Mai 2015 von einer Brücke im US-Bundesstaat Washington, weil es die öffentliche Beschämung durch den Vater nicht erträgt. Erbost über ein in der Schule zirkulierendes Selfie, das die Tochter in Sport-BH und Leggings zeigt, schneidet er ihr die langen Haare ab und filmt sie dabei. Als das Video die Runde macht und zum Schulgespräch wird, nimmt sich Izabel das Leben.

Doch auch hierzulande sind Demütigungen und Beschämungen allgegenwärtig – nicht nur, aber vor allem im Internet. Es gibt Autofahrerpranger, bei denen bis vor kurzem jeder sein Negativurteil über die Fahrkünste anderer, eindeutig identifizierbarer Ver-

Vor aller Augen: Mit seiner Skulptur „Martin ab in die Ecke und schäm dich“ thematisiert der Künstler Martin Kippenberger demütigende Rituale, wie sie zu seiner Schulzeit in den 1960er-Jahren noch weit verbreitet waren. Dass andere dabei billigend zuschauen, verstärkt die Scham der Betroffenen.



kehrsteilnehmer kundtun konnte. Eine parteinahe Stiftung veröffentlichte im Jahr 2017 ein Online-Lexikon über antifeministische Netzwerke, Organisationen und Personen, das weithin als Denunziation und Pranger wahrgenommen und von den Betreibern zurückgezogen wurde. Tagtäglich entstehen neue Shaming-Plattformen, auf denen Menschen, die angeblich zu dick, zu dünn, zu promiskuitiv oder Ähnliches sind, niedergemacht werden.

Woher kommt das Bedürfnis, andere – und seien es die eigenen Kinder – vorzuführen und öffentlich bloßzustellen? Was bezwecken solche Demütigungen und Beschämungen, und welche Wirkungen entfalten sie? Warum sind sie selbst in Gesellschaften

Ein Gefühl von ungeheurer Wucht und Wirkmächtigkeit, das sogar tödlich sein kann

verbreitet, die Würde und Respekt großschreiben? Lebt hier das „finstere Mittelalter“ fort? Oder mobilisiert die helle, erleuchtete, aufgeklärte Moderne eigene Beschämungsenergien und erfindet neue Demütigungspraktiken?

In öffentlichen Demütigungen wird stets Macht demonstriert. Indem sie andere Menschen vor Augenzeugen in die Knie zwingen, bekräftigen soziale Akteure ihren Anspruch auf eine herausgehobene, machtvolle Position. „Macht“, heißt es bei dem Soziologen Max Weber, „bedeutet jede Chance, innerhalb einer sozialen Beziehung den eigenen Willen auch gegen Widerstreben durchzusetzen, gleichviel worauf diese Chance beruht.“

In diesem Sinne übte Izabel Laxamanas Vater Macht über seine Tochter aus. Er hatte ihr verboten, Selfies ins Netz zu stellen; als sie es trotzdem tat, bestrafte er sie durch eine demütigende Prozedur, die er für die Öffentlichkeit dokumentierte. Auch diejenigen, die ihren eigenen Internetpranger betreiben, streben Macht über andere an, denen sie sich moralisch oder sozial überlegen fühlen und deren Unterlegenheit sie durch die Beschämung bekräftigen wollen.

Scham, das wussten bereits antike Philosophen, ist ein Gefühl von ungeheurer Wucht und Wirkmächtigkeit. Sie kann tödlich sein und prägt sich auch dem

Weiterlebenden unauslöschlich ein. Wer sich einmal in Grund und Boden geschämt hat, wird diese Erfahrung kaum je wieder los. Dabei ist die Anwesenheit und Zeugenschaft Dritter von größter Bedeutung. Zwar kann man sich auch vor sich selber schämen, weil man etwas getan oder gedacht hat, das dem idealen Selbstbild und den gängigen Moralvorstellungen widerspricht. Zum Beispiel kann ich Scham darüber empfinden, dass ich einem Kollegen den verdienten Aufstieg neide. Das gleiche Gefühl würde mich beschleichen, wenn ich dem Chef vergnügt dabei zuschaute, wie er eine Mitarbeiterin coram publico herunterputzt. Öffentliche Demütigung gilt hier und jetzt zumeist als intolerabler Übergriff oder gar als Verletzung menschlicher Würde; fände ich daran Gefallen, müsste ich mich vor mir selber schämen.

Was aber macht Demütigung so abscheulich? Es ist das leidvolle Wissen um die Macht und Gewalt des öffentlichen Blicks – eines Blicks, der sich nicht abschütteln lässt, der unter die Haut geht und am Körper der Beschämten haften bleibt. Werden andere Menschen Zeugen individueller Fehlleistungen oder Normverstöße, heizt dies das Schamgefühl an; je mehr Wert man auf ihre Wertschätzung legt, desto größer wird die eigene Scham.

Ein Kind, das im Laden einen Kaugummi mitgehen lässt und weiß, dass es das nicht tun darf, mag sich insgeheim dafür schämen. Ertappt man es dabei und informiert die Eltern, bedarf es nicht einmal mehr der Aufforderung „Schäm dich!“, um das entsprechende Gefühl hervorzurufen. Vor aller Augen bloßgestellt zu sein, treibt ihm brennende Röte ins Gesicht, es hat nur einen Wunsch: sich den beschämenden Blicken zu entziehen.

Aus diesem Grund nennen Psychologen Scham eine soziale oder interpersonale Emotion. Sie stellt sich mehrheitlich in Anwesenheit Dritter ein; nur ein Sechstel der Befragten gibt an, Scham als privates, selbstbezügliches Gefühl zu erleben. Ihre soziale Einbettung lässt Scham mächtig und gefährlich werden. Aus Angst vor Beschämung riskieren Menschen Kopf und Kragen. So springt der kleine Uli in Erich Kästners Kinderbuchklassiker *Das fliegende Klassenzimmer* von einer hohen Leiter, um zu beweisen, dass er kein Feigling ist. Oft haben ihn die Schulkameraden wegen seines Mangels an Mut gehänselt, und er lief dabei „knallrot“ an. Sein Sprung befördert ihn zwar mit schweren Verletzungen ins Krankenhaus, bringt aber die Peiniger und Spötter zum Schweigen.



Kästners Uli – das Buch erschien erstmals 1933 – wuchs in einer Jungenwelt auf, in der Feigheit zu den schlimmsten Normverstößen gehörte. Jungen mussten mutig sein und diesen Mut unter Beweis stellen. Taten sie das nicht, erlebten sie Verachtung und Zurücksetzung bis zum Ausschluss aus der Gruppe. Uli hatte das akzeptiert und verinnerlicht, er wusste der Hänselei nichts entgegenzusetzen als eine tollkühne Tat. Das war in Izabel Laxamanas Fall anders. Vermutlich schämte sie sich nicht dafür, dass sie das Verbot des Vaters ignoriert und leicht bekleidet im Internet posiert hatte. Seine Vorstellungen von Moral und Anstand waren nicht unbedingt die ihren. Beschämend wirkte hier die väterliche Strafaktion, vor allem aber deren öffentliche Verbreitung.

Welche Wirkungen öffentliche Demütigungen haben, wird an diesen und vielen anderen Beispielen deutlich. Sie illustrieren nicht nur die Macht der Täter, das, was sie als Verstoß gegen eine Norm oder Erwartung betrachten, zu dokumentieren und zu rügen. Sie zeigen darüber hinaus die Macht der Zuschauer, sei sie tatsächlich oder imaginiert. Stets findet das Drama von Macht und Ohnmacht, Scham und Schande, Täter und Opfer auf öffentlichen Schauplätzen statt. Das Publikum kann der Demütigung zustimmen und sie verschärfen. Es kann sich aber auch verweigern. Machtverhältnisse lassen sich umkehren, die Beschämenden werden ihrerseits beschämt. Dafür liefert die moderne Geschichte vielfaches Anschauungsmaterial: von punktueller Distanzierung bis zu breiter Kritik, von individuellem Protest bis zur kollektiven Revolte.

Oft hört man, die Erfahrung des Zweiten Weltkriegs habe den Widerstand gegen Demütigung und Beschämung maßgeblich vorangetrieben und die Karriere von Respekt und Anerkennung beflügelt. In der Tat bekannte sich 1945 die Charta der Vereinten Nationen in ihrer Präambel zum Glauben an „Würde und Wert der menschlichen Persönlichkeit“. Im Jahr 1948 statuierte die Allgemeine Erklärung der Menschenrechte in Artikel 1: „Alle Menschen sind frei und gleich an Würde und Rechten geboren.“ Auch das bundesdeutsche Grundgesetz zählt seit 1949 die Menschenwürde als erstes, unantastbares Grundrecht auf und verpflichtet den Staat, sie zu achten und zu schützen.

Menschenwürde und die auf ihr beruhenden Rechte Einzelner waren jedoch seit längerem ein Thema. Bereits im 18. Jahrhundert tauchte die menschliche

Würde als Argument auf, wenn es darum ging, unwürdige Strafformen zu kritisieren und aus der Rechtsordnung zu verbannen. Die moderne Welt erscheint aus dieser Perspektive als eine, die der zerstörerischen Kraft sozialer und politischer Demütigungen ebenso kraftvolle Instrumente zum Schutz von Ehre und Würde entgegenzusetzen sucht.

Zugleich aber nutzen auch heutige Gesellschaften Beschämung und Demütigung als soziale und politische Machttechnik – und weisen ihr mitunter sogar eine konstruktive Funktion zu. Wenn etwa eine Person den normativen Erwartungen ihrer Gruppe nicht genügt und dafür öffentlich vorgeführt wird, dient das aus Sicht der Gruppe nicht allein der Bestrafung. Es dient auch der Reintegration – vorausgesetzt, die Person bereut das, was sie getan hat. Stigmatisierende Demütigung dagegen bezweckt Exklusion ohne Rückkehr.

Als deutsche Wehrmachtssoldaten jüdischen Männern im besetzten Polen die Bärte abschnitten, oder als serbische Soldaten und Milizionäre im Bosnienkrieg der 1990er-Jahre gezielt und systematisch muslimische Frauen vergewaltigten, ging es weder um Bestrafung noch um Integration. Ziel war vielmehr, die eigene Macht unter Beweis zu stellen und Mitglieder einer anderen Bevölkerungsgruppe so zu erniedrigen, dass deren Selbstachtung auf Dauer beschädigt oder gar zerstört wurde.

Beide Formen vollziehen sich geplant, koordiniert und öffentlich. Sie erfolgen weder spontan noch situativ-willkürlich, sondern halten sich an ein wohlüberlegtes Skript und weisen eine ritualisierte Struktur auf. In diesem Sinn kann man von Demütigung als Politik sprechen, als einer der Durchsetzung von Macht dienenden Strategie, an der verschiedene Akteure mitwirken und die auf verschiedenen Schauplätzen zur Geltung kommt.

Gezielte, absichtsvolle Demütigungen finden nicht nur in Erziehungsinstitutionen wie Familie, Schule oder Militär statt, wo sie zumeist von oben nach unten verabreicht werden. Auch unter Gleichen, etwa unter Schülern oder Arbeitskollegen, feiern sie fröhliche Urständ. Und selbst in der internationalen Politik kommen sie häufig vor. Die Logik von Macht und Ehre oder Achtung tritt hier noch nackter hervor als in sozialen Beziehungen. Verletzt ein Staat die Ehre des anderen, ohne Satisfaktion zu geben und sich zu entschuldigen, kann das einen Krieg auslösen, wie 1870 zwischen Frankreich und Preußen. >



Endet der Krieg mit einem für den Unterlegenen demütigenden Friedensschluss, wie man es 1919 in Deutschland, Österreich oder Ungarn erlebte, wird ein neuer Waffengang wahrscheinlicher. Politiker und Diplomaten sind in solchen Fällen gut beraten, mit Fingerspitzengefühl vorzugehen und Demütigungen zu vermeiden. Sie können sie aber auch dosiert einsetzen und damit zündeln, um sich im internationalen oder nationalen Machtkampf Vorteile zu sichern.

Ein Vorfall von 2010 mag dies verdeutlichen: Als das türkische Fernsehen eine Sendereihe ausstrahlte, die israelische Soldaten als Kindermörder brandmarkte, berief der stellvertretende Außenminister Israels, Danny Ayalon, den Botschafter der Türkei ein. Vor

Ein ausländischer Diplomat wird vom Bündnispartner vor laufenden Kameras erniedrigt

dem Treffen ließ er das anwesende Fernsehteam wissen, es werde einer symbolischen Demütigung beiwohnen: Der Botschafter sitze auf einem niedrigeren Sessel, die türkische Fahne fehle, und die Israelis schenken dem Diplomaten kein Lächeln. Das absichtsvolle Arrangement blieb der türkischen Regierung nicht verborgen. Sie reagierte mit geharnisstem Protest und verkündete, das gesamte türkische Volk sei gedemütigt worden. Präsident Abdullah Gül forderte Ayalon auf, sich öffentlich zu entschuldigen, was jener ablehnte. Erst auf Intervention des israelischen Präsidenten Shimon Peres, der um die damals noch guten Beziehungen zum wichtigsten militärischen Bündnispartner in der Region fürchtete, rang sich Ayalon zu der Erklärung durch, es sei nicht seine Art, ausländische Botschafter zu beleidigen.

Das ging der türkischen Regierung nicht weit genug, und nach einem weiteren Tag hektischer diplomatischer Depeschen erhielt Ankaras Botschafter schließlich einen Brief folgenden Inhalts: „Ich hatte nicht die Absicht, Sie persönlich zu beleidigen, und ich entschuldige mich dafür, wie die Demarche ausgeführt und wahrgenommen worden ist. Bitte übermitteln Sie dies dem türkischen Volk, für das wir großen Respekt hegen.“

Ayalon bediente sich aus einem diplomatischen Wortschatz, der sich seit der Frühen Neuzeit entwi-

ckelt hatte. Relativ neu im Repertoire war hingegen der Hinweis auf das Volk, das von der Entschuldigung in Kenntnis zu setzen sei und dem man seinen Respekt aussprach. Seit der Französischen Revolution war der Staat zur Sache der ganzen Nation geworden, und die Ehre des Staates – vormals die des Fürsten – ging auf die Nation über. Kränkungen dieser Ehre trafen nun die Gesamtheit der Staatsbürger.

Deshalb konnte die türkische Regierung erklären, dass mit ihrem Vertreter das Volk gedemütigt worden sei, und deshalb entschuldigte sich der israelische Minister sowohl beim Botschafter als auch bei der türkischen Bevölkerung. Nicht nur dieser Fall lässt erkennen, dass sich internationale Beziehungen in der Moderne oft vor großem, maximal interessiertem Publikum abspielen und dadurch eine erhebliche Dramatisierung erfahren. Wenn Diplomatie vor laufenden Kameras stattfindet, gewinnen demütigende Gesten und Worte eine Durchschlagskraft, die in Zeiten geheimnisumwitterter Kabinettspolitik undenkbar war.

Für eine Politik der Demütigung auf internationalem Parkett sind Nationalisierung und Demokratisierung demnach ebenso wichtige Treiber wie die Medien, die jene Politik verbreiten und kommentieren. Medien werden dabei mehr und mehr zu Akteuren eigenen Rechts: Sie können Normverstöße ausfindig machen, vorgebliche Demütigungen aufspüren und aufbauschen, Sanktionen einfordern. Und sie können selber an der Demütigungsschraube drehen, indem sie eigene und fremde Politiker verspotten, karikieren, in den Schmutz ziehen.

Auch dafür bietet die Gegenwart immer wieder neues Anschauungsmaterial. Hohe Wellen schlug im Jahr 2016 das sogenannte Schmähdgedicht des deutschen Fernsehmoderators Jan Böhmermann auf den türkischen Präsidenten Erdoğan, das dessen Vize als Beleidigung des Präsidenten und aller 78 Millionen Türken einstufte. Erdoğan strengte daraufhin nicht nur eine private Beleidigungsklage gegen den Satiriker an, sondern wollte ihn auch nach Paragraph 103 Strafgesetzbuch (Beleidigung von Organen und Vertretern ausländischer Staaten) belangt sehen.

Anders als das Recht, das zwischen Beleidigung und Verleumdung klar unterscheidet (allerdings von Demütigung und Beschämung nichts weiß), trennt unsere Alltagssprache nicht klar zwischen all diesen Praktiken der Erniedrigung und Entwürdigung. Das liegt zum einen an fließenden Übergängen und Mischformen, die in der Moderne an Zahl und Form

zunehmen. Wenn sich soziale Gruppenbindungen abschwächen und Menschen zwischen verschiedenen Zugehörigkeiten wählen können, verlieren klassische Beschämungsverfahren ihre angestammten Schauplätze. Zugleich entstehen neue Institutionen und Verbünde, die eigene Praktiken der Bloßstellung erfinden und als Initiationsrituale nutzen.

Nicht immer ist genau zu erkennen, ob es sich dabei um eine normativ integrierende Sanktion oder um eine kategorische Ausgrenzung handelt. Der Umgang mit Homosexuellen kann beschämend sein, wenn man Homosexualität – wie früher üblich und heute noch in vielen Ländern verbreitet – als zu kurierende Krankheit ansieht. Er kann aber auch einen demütigenden, radikal stigmatisierenden und exkludierenden Charakter annehmen.

Zum anderen hat sich der Sprachgebrauch im Verlauf des 19. und 20. Jahrhunderts erheblich verändert. Der Begriff der Würde rückte in den Vordergrund, während Ehre als vormaliger Leitbegriff an Attraktivität verlor. In der Öffentlichkeit war entsprechend häufiger von Demütigung die Rede, und Beschämung geriet ins Hintertreffen. Allerdings sind Ehre und Würde semantisch oft nur schwer voneinander zu scheiden. Als der Bundesgerichtshof im Jahr 1957 Ehre und Ehrenhaftigkeit auf die dem Menschen „unverlierbar von Geburt an zuteilgewordene Personenwürde“ zurückführte, vertrat er eine nicht allein von Juristen geteilte herrschende Meinung, deren begriffliche Unschärfe es fast unmöglich macht, zwischen Beschämung und Demütigung eine klare Trennlinie zu ziehen.

Diese Trennlinie aber gibt es in der Wahrnehmung der Gefühle, die mit solchen Praktiken einhergehen. Wer beschämt wird, weil er oder sie die Normen der Gruppe, des Kollektivs verletzt hat, kann darüber eine Mischung aus Scham und Reue empfinden, sofern er oder sie sich an diese Normen und das Kollektiv affektiv gebunden fühlt. Wer gedemütigt wird, weil er oder sie anders ist und deshalb Stigmatisierung und Ausgrenzung erfährt, würde sich nur dann schämen, wenn er oder sie das Anderssein selber als negativ bewertete.

In diesem Sinne könnte sich jemand seiner sozialen oder ethnischen Herkunft ebenso schämen wie seiner sexuellen Orientierung oder seiner körperlichen Gestalt. Reue aber könnte diese Person darüber nicht empfinden, denn all diese Kennzeichnungen sind ohne ihr Zutun entstanden und entziehen sich ihrer Verfügung. ◀



DIE AUTORIN

Ute Frevert, geboren 1954, zählt zu den wichtigsten deutschen Historikern. Sie lehrte Neuere Geschichte in Berlin, Konstanz und Bielefeld. Von 2003 bis 2007 war sie Professorin an der Yale University, seit 2008 leitet sie den Forschungsbereich „Geschichte der Gefühle“ am Max-Planck-Institut für Bildungsforschung in Berlin. Sie wurde 1998 mit dem Leibniz-Preis der Deutschen Forschungsgemeinschaft ausgezeichnet und erhielt 2016 das Bundesverdienstkreuz Erster Klasse.



DAS BUCH

Ute Frevert

Die Politik der Demütigung

Schauplätze von Macht und Ohnmacht

S. Fischer Verlag,

Frankfurt am Main 2017

Gebunden, 336 Seiten, 25 Euro



Den Naturgewalten zum Trotz

Max-Planck-Wissenschaftler kooperieren mit Partnern in mehr als 110 Ländern dieser Erde. Hier schreiben sie über persönliche Erlebnisse und Eindrücke. Die Meeresbiologin Greta Giljan ist Doktorandin am Bremer Max-Planck-Institut für marine Mikrobiologie. Sie berichtet von einer Forschungsfahrt in die Irische See, von starken Stürmen, Problemen mit einem tonnenschweren Gerät und dem Zusammenhalt der Crew.

Wenn ich an Bord des britischen Forschungsschiffes *Cefas Endeavour* auf die klare Irische See blicke, ist es schon schwierig zu glauben, dass sich darin Millionen von mikroskopisch kleinen Lebewesen tummeln. Sie sorgen dafür, dass grundlegende Prozesse und Kreisläufe auf unserem Planeten funktionieren, und sind deswegen so spannend für mich.

Mit meinem Tiefseeinkubator gewinne und inkubiere ich sie in ihrer natürlichen Umgebung – der Irischen See, in bis zu 100 Meter Tiefe. Aber das erfordert viel Fingerspitzengefühl: Denn wenn wir das knapp eine Tonne schwere Gerät hinablassen, ist es mit dem Forschungsschiff nur noch über ein Stahlseil, ein Kabel und eine Kabelwinde verbunden. Die ersten elf Tage nach Ablegen stürmte es stark. Daher bestand große Gefahr, dass diese Verbindungen abreißen und wir den Inkubator verlieren könnten oder dieser gegen die Schiffswand knallen würde.

Also hieß es erst mal warten. Und wer weiß, wie kostbar die Schiffszeit ist, kann verstehen, wie frustriert man wird. Letztlich bin ich ganz allein, eine von vielen Meeresforscherinnen und -forschern an Bord. Und ich bin froh, dass ich hier mitfahren darf. Doch wegen des Sturms verstrich



Greta Giljan, 25, studierte Biotechnologie in Darmstadt, bevor sie für ihre Bachelorarbeit ans Max-Planck-Institut für marine Mikrobiologie wechselte. Danach folgte die Masterarbeit, und seit September 2016 arbeitet Giljan an der Doktorarbeit in der Abteilung für Molekulare Ökologie bei Bernhard Fuchs, wo sie sich der Stoffwechselaktivität unterschiedlicher Meerespopulationen mit kleinen Genomen widmet. Man vermutet, dass diese nur wenige Stoffwechselenzyme selbst exprimieren können und deswegen darauf angewiesen sind, Nährstoffe aus der Wassersäule aufzunehmen. Im Jahr 2018 dient Greta Giljan außerdem dem Max Planck Phdnet als Schatzmeisterin.

unwiederbringliche Zeit. Und auch der Versuch, die Route des Schiffes so zu legen, dass wir dem Sturm ausweichen würden, reichte nicht aus. Trotz dieses Rückschlags und gesunkener Motivation war ich noch nicht bereit aufzugeben. Bestärkt durch aufmunternde Worte der Crew, die anfangs die Möglichkeit eines Einsatzes bezweifelte, hatte ich die Hoffnung auf ruhigen Seegang nicht verloren. Auf See hält man eben zusammen.

Und dann spielt das Wetter auf einmal mit. Nun muss jeder Handgriff sitzen, alle Pläne müssen funktionieren, damit der Koloss endlich in die Tiefe abgelassen werden kann. Aber erst jetzt in der Praxis merken wir, dass trotz aller Planung die Kommunikation mit dem Gerät nicht funktioniert! Zum Glück stehe ich per E-Mail in ständigem Austausch mit unseren Technikern am Max-Planck-Institut, die mir mit ihrer jahrelangen Erfahrung wichtige Tipps geben können. Was haben früher die Forscher nur ohne Internet gemacht?

Am Bremer Institut finde ich optimale Bedingungen, um als Meeresforscherin zu arbeiten. Damit erfülle ich mir auch einen kleinen Kindheitstraum, denn ich habe als Kind viele Dokus über Fische und Meere angeschaut, und besonders die Arbeit auf den Forschungsschiffen fand ich so faszinierend, dass ich auch selbst mal mitfahren wollte. Letztlich ist alles noch vielfältiger, als ich mir das vorgestellt hatte. Denn auch wir Umweltforscher sind nicht die ganze Zeit über in der freien Natur, sondern verbringen einen großen Teil unserer Zeit am Computer. Daten müssen analysiert, visualisiert und ausgewertet werden – und hier beginnt der harte Kern unserer Arbeit: immer tiefer in die Daten zu gehen und zu schauen, welche Informationen über unsere globalen Stoffkreisläufe darinstecken.

Trotz meiner Faszination für die Meeresforschung ist es schwierig, Pläne für die Zukunft zu machen. Natürlich ist alles unglaublich spannend, aber auch in anderen Berufsfeldern lässt sich die Erfahrung als Max-Planck-Doktorandin sinnvoll einsetzen. Etwa die Fähigkeiten, sich im Forschungsalltag selbst zu organisieren, die gewonnenen Erkenntnisse zu vermitteln und auch mal einen anderen Blickwinkel auf die Dinge einzunehmen. Momentan konzentriere ich mich aber darauf, meine hart erkämpften Proben auszuwerten. Und dann schaue ich, in welchen Gewässern ich meinen Inkubator als Nächstes ablassen kann – hoffen wir mal auf ruhige See.



Jedes Zimmer eine Kultur für sich

Seit dem Jahr 2015 kamen etwa 1,2 Millionen Flüchtlinge nach Deutschland. Sie möchten hierzulande Zuflucht oder eine neue Heimat finden. Wie gut der Start ins neue Leben klappt, hängt von vielen Faktoren ab. Wissenschaftlerinnen vom **Max-Planck-Institut zur Erforschung multireligiöser und multiethnischer Gesellschaften** in Göttingen untersuchen genauer, welche Bedürfnisse und Ziele die Flüchtlinge haben – und ob sich diese erfüllen.



TEXT **TIM SCHRÖDER**

Das Jahr 2015 wird in Erinnerung bleiben. In Deutschland und vielen anderen Staaten Europas trafen in wenigen Monaten so viele Flüchtlinge ein wie seit dem Zweiten Weltkrieg nicht mehr. Allein hierzulande waren es knapp 500 000 Menschen – aus Syrien, aus dem Irak, aus Afghanistan und anderen Ländern. 500 000-mal Hoffnung auf eine bessere Zukunft, 500 000 Männer, Frauen, Kinder mit ihrer ganz persönlichen Lebensgeschichte, mit ganz eigenen Vorstellungen von der Zukunft.

Die ersten Weichen für ihr künftiges Leben in Deutschland werden in der ersten Unterkunft gestellt. Manche Flüchtlinge wohnen in großen Hallen, in denen Schlafräume nur durch Stellwände voneinander getrennt sind. Hier müssen sich mitunter mehr als zehn Personen einen Raum teilen. Es ist permanent laut, weil die Abteile keine Zimmerdecken haben dürfen. Andere kommen in Wohnungen unter, in denen sie mehr Privatsphäre finden.

„Insgesamt hat es Deutschland sehr gut geschafft, in kurzer Zeit all diese Menschen unterzubringen – alle haben

Schwierige Bedingungen: Flüchtlinge, die in Fabrikhallen am Stadtrand wohnen, sind in verschiedener Hinsicht benachteiligt. Es mangelt nicht nur an Ruhe und Privatsphäre, sondern oft auch an Einkaufsmöglichkeiten, an Ärzten und ehrenamtlichen Helfern.

zu essen und ein Dach über dem Kopf“, sagt Shahd Wari vom Max-Planck-Institut zur Erforschung multireligiöser und multiethnischer Gesellschaften in Göttingen. „Die Ämter und die vielen Ehrenamtlichen, die vielen Initiativen haben Großes geleistet.“ Die Wissenschaftlerin und ihre Kolleginnen am Institut interessieren sich jedoch für die

» Das Gefühl von Willkür, von Machtlosigkeit ist für viele Asylbewerber eines der größten Probleme.

Details. Sie wollen vor allem verstehen, wie die Asylbewerber selbst ihre Situation wahrnehmen.

In einer von der Volkswagenstiftung finanzierten Studie haben die Forscherinnen untersucht, welche Bedürfnisse und Ziele die Flüchtlinge haben – und auch, wie ihre Startbedingungen in Deutschland sind. Forschungsort waren zunächst die Stadt und der Landkreis Göttingen, die in den vergangenen zwei Jahren ungefähr 1500 Flüchtlinge aufgenommen haben. Die Wissenschaftlerinnen haben Asylbewerber im Alltag begleitet und interviewt. Sie haben Gespräche mit den Be-

treibern von Flüchtlingsunterkünften, mit Fachleuten aus den Behörden und der Verwaltung geführt. Sie haben mit Sozialpädagogen und freiwilligen Helfern gesprochen.

DIE BEHÖRDEN KENNEN NUR FÜNF KATEGORIEN

„Unser Ergebnis ist zugleich einfach und ungeheuer komplex: Anders als die Berichterstattung in den Medien suggeriert, ist klar geworden, dass es nicht *den einen* Flüchtling gibt“, sagt Shahd Wari. „Die persönlichen Hintergründe der Menschen sind sehr unterschied-

lich. Das heißt, dass es keine *One size fits all*-Lösung geben kann, wenn man Asylbewerbern dabei helfen will, in Deutschland Fuß zu fassen.“

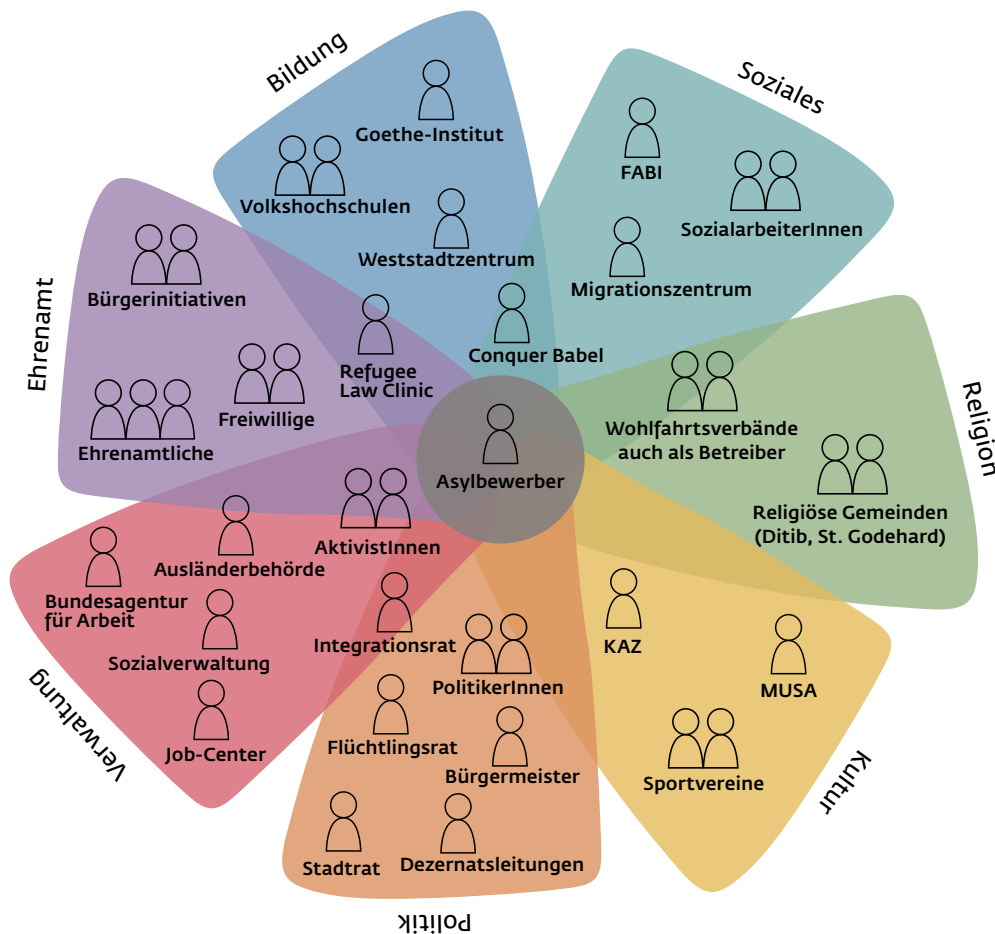
Diese Erkenntnis erscheint fast trivial, denn bekanntlich sind Menschen verschieden. Tatsächlich aber wird auf die Individualität der Asylbewerber im Alltag oft wenig Rücksicht genommen. Das fängt damit an, dass die Behörden Asylbewerber holzschnittartig nach fünf Kategorien einteilen: nach ihrer Staatsangehörigkeit, ihrem Geschlecht, ihrem Alter, ihrem Gesundheitszustand und ihrem rechtlichen Status. Oft werden Asylbewerber nach diesen Kategorien auch in den Flüchtlingsunterkünften zusammengelegt. Dieses Raster ist ausgesprochen grob, was zu Konflikten führen kann.

Konkretes Beispiel in Göttingen: In einer Sammelunterkunft wohnen vier Frauen in einem Zimmer. Zwei von ihnen teilen nach dem Standardraster alle fünf Kategorien. Dennoch ist etwa ihr Bedürfnis nach Privatsphäre ganz unterschiedlich. Eine der beiden möchte ihr Kopftuch ablegen, wenn sie sich im Zimmer aufhält, fürchtet aber, von draußen durchs Fenster gesehen zu werden. Der Betreiber klebt das Fenster daraufhin mit Sichtschutzfolie ab, damit niemand hereinschauen kann. Die andere dagegen empfindet die Schutzfolie nicht als Mehrwert für ihre Privatsphäre, sondern als einengend und fühlt sich wie im Gefängnis.

„Unsere Studie hatte erst einmal das Ziel, die Situation der Asylbewerber zu verstehen. Immerhin machen wir hier Grundlagenforschung“, erläutert Shahd Wari. „Andererseits haben wir durch unseren tiefen Einblick manche Ideen entwickelt, wie man die Bedingungen verbessern könnte.“ So wäre es etwa sinnvoll, bei der Unterbringung mehr

Grundlegende Kenntnisse: Nur wer Deutsch lernt, kann hier Fuß fassen. Solange sich Asylverfahren hinziehen, wird den Betroffenen jedoch kein Sprachkurs gezahlt – teils monatelang.





Verwirrende Vielfalt: Asylbewerber treffen auf zahlreiche unterschiedliche Ansprechpartner. Im Göttinger Forschungsprojekt wurde deutlich, wie schwierig es für sie ist nachzuvollziehen, wer wofür zuständig ist.

Kategorien zu berücksichtigen als nur die fünf genannten.

Zu diesem Zweck könnte die Behörde zum Beispiel ihre Mitarbeiter in Workshops über die gesellschaftlichen und politischen Hintergründe in den Herkunftsländern schulen – nicht nur in Bezug auf traditionelle oder moderne Lebensweisen. Wichtig sei es auch, verschiedene soziale Gruppen zu berücksichtigen, etwa solche, die im Herkunftsland verfeindet sind, wie es Kurden und Araber im Irak sein können. Damit ließen sich die Konfliktpotenziale in den Unterkünften mindern.

In vielen Fällen seien es zutiefst menschliche Aspekte, individuelle Wünsche, die im Alltag kaum berücksichtigt werden, sagt Shahd Wari. So müssen sich in manchen Unterkünften viele Menschen eine Küche und die Waschräume teilen – Menschen mit ganz unterschiedlichen Gewohnheiten und Bedürfnissen nach Ordnung und Sauberkeit. „Gerade in Sammelunter-

künften gibt es viele solcher menschlich absolut nachvollziehbaren Konflikte“, sagt Shahd Wari. In einem Haus gab es Auseinandersetzungen wegen eines gespendeten Fernsehers. Auf dem Flur, in dem der Fernseher aufgebaut wurde, war ständig etwas los. Von den anderen Fluren kamen die Leute zu jeder Tages- und Nachtzeit – so fanden jene Leute kaum Ruhe, die früh ins Bett gehen wollten.

SUBJEKTIVE EINDRÜCKE ZÄHLEN EBENSO WIE FAKTEN

Das Besondere an der Studie der Göttinger Forscherinnen ist, dass diese als eine der Ersten ihrer Art die Situation der Asylbewerber systematisch mit wissenschaftlichen Interviewmethoden durchleuchtet hat. „In der Hochphase der Flüchtlingskrise wurden viele Entscheidungen ad hoc getroffen, ohne die Situation der Asylbewerber genau zu analysieren. Das wäre vielleicht auch

nicht anders gegangen“, sagt Wari. Mit der Studie haben die Expertinnen jetzt eine Art ausgeruhten Status-quo-Bericht vorgelegt.

In Experteninterviews mit Betreibern und Behördenvertretern wurden Fakten zur Finanzierung und Organisation der Unterkünfte abgefragt. In Interviews mit sogenannten Fokusgruppen wiederum lernten die Forscherinnen mehr über die Bedürfnisse der Asylbewerber: In solchen Interviews kommen mehrere Asylbewerber zusammen, um über die familiäre Situation, die Sorge um die Daheimgebliebenen oder andere Themen wie den Alltag in Deutschland zu sprechen. Die Interviewerinnen halten sich dabei mit Fragen zurück und lassen die Unterhaltung laufen.

„Wir haben auch viel Zeit mit einzelnen Asylbewerbern verbracht, Ausflüge gemacht oder die Leute bei Arztbesuchen oder Behördengängen begleitet“, erzählt Shahd Wari. In der Fachsprache der Sozialwissenschaftler

Links Menschliche Bedürfnisse: Die Göttinger Forscher kategorisieren, was jeder Einzelne als wichtig ansieht. Manche Wünsche sind eher individuell, viele sind grundlegend und für alle nachvollziehbar.

Rechts Unterschiedliche Blickwinkel: Shahd Wari (links) hat als Architektin und Stadtplanerin eher die räumlichen Gegebenheiten und Bedürfnisse im Fokus, während die Ethnologin Annett Fleischer (rechts) die Lebensbedingungen untersucht.



vollziehen können. Oftmals werde die Berechnungsgrundlage gar nicht erklärt. In anderen Fällen seien detaillierte Erklärungen nur auf Deutsch verfügbar.

Und auch bei den Unterkünften gibt es Unterschiede. Manche Asylbewerber haben das Glück, dass ihnen schnell ein eigenes Apartment zugewiesen wird – andere leben mehr als ein Jahr in einer Sammelunterkunft. „Dieses Gefühl der Willkür, der Machtlosigkeit ist für viele der von uns befragten Asylbewerber eines der größten Probleme“, so die Max-Planck-Forscherin.

Shahd Wari stammt selbst aus Palästina und spricht Arabisch. „Ich konnte mich leicht mit Asylbewerbern aus Syrien oder dem Irak unterhalten. Das hat enorm geholfen, um Vertrauen aufzubauen.“ Viele Asylbewerber seien dennoch vorsichtig, sich anderen Menschen zu öffnen – weil sie auf ihrer Flucht Schreckliches erlebt haben, aber auch, weil so viele Institutionen involviert sind. Behörden, karitative Einrich-

tungen, Übersetzer von offizieller Stelle oder Privatleute. Wem kann man trauen? Wer hat etwas zu sagen? Wer ist nur guter Ratgeber? Viele hätten Angst, etwas Falsches zu sagen, etwas zu äußern, das den Erfolg ihres Asylantrags gefährden könne, sagt Shahd Wari. „So trauen manche den offiziellen Übersetzern in den Behörden nicht. Hier würde es schon helfen, wenn die Asylbewerber eine vertraute Person mitbringen können, die bei der Übersetzung hilft.“

DEN FORSCHERN GELANG ES, VERTRAUEN AUFZUBAUEN

Shahd Wari ist als Architektin und Stadtplanerin zum Forschungsteam gestoßen und interessiert sich daher besonders für die räumlichen Bedürfnisse der Asylbewerber und für die architektonischen Aspekte in den Unterkünften. Im Team haben zudem die Soziologin Susanne Becker und die Ethnologin Annett Fleischer mitgearbeitet,

die sich allgemein den Lebensbedingungen der Asylbewerber gewidmet haben. Derzeit geht die Studie in ihre zweite Phase.

Neu mit dabei ist die Kulturanthropologin Simona Pagano. „Eine Erkenntnis aus der ersten Studie ist, dass viele Asylbewerber, die in verschiedenen Flüchtlingsunterkünften untergebracht werden, unterschiedlich gut oder schnell im Alltag Fuß fassen“, erzählt sie. „Wir wollen genauer herausfinden, welche Stellschrauben hier entscheidend sind.“ Pagano möchte in der zweiten Phase insbesondere auch untersuchen, ob es – selbst beim selben Betreiber – Unterschiede zwischen verschiedenen Unterkünften und Standorten gibt. Sie wird dabei nicht nur in Göttingen, sondern auch in Wolfsburg forschen, um noch besser vergleichen zu können.

Es gibt bereits erste Hinweise darauf, warum verschiedene Unterkünfte tatsächlich unterschiedliche Startbedingungen bieten. Eine Rolle kann die

Lage spielen. Ein Quartier am Stadtrand hat etwa den Nachteil, dass die Anbindung schlechter ist. Busse fahren seltener, der Weg in die Stadt ist weiter, ebenso die Anreise zu Behörden und Ärzten – oder auch zu Infoveranstaltungen, auf denen die Asylbewerber wichtige Tipps für den Alltag bekommen oder sich mit anderen austauschen können. „Aber das ist nur ein Faktor“, sagt Simona Pagano. „Wir wollen genauer verstehen, warum die eine Flüchtlingsunterkunft erfolgreicher als die andere ist.“ Erfolgreicher darin, dass Asylbewerber schnell ihren Weg in den Alltag finden.

MIGRANTEN SOLLTEN AM ALLTAG TEILHABEN KÖNNEN

Das Wort „integrieren“ vermeidet Simona Pagano. Sie spricht lieber von Teilhabe. „Aus Sicht der Sozialwissenschaftler und Migrationsforscher ist der Begriff Integration unscharf, weil er nur sehr schwammig erklärt, was es braucht, damit Menschen in einer Gesellschaft Fuß fassen können.“ Zudem werde er oftmals mit dem Begriff Assimilation vermischt – der beschreibe, wie Menschen Gewohnheiten, Traditionen und Regeln einer anderen Gesellschaft übernehmen, um sich anzupassen.

Teilhabe treffe es besser. Wie diese Teilhabe aussehe, könne von Mensch zu Mensch verschieden sein, sagt Pagano. Für den einen seien Geld und Arbeit wichtig, für den anderen soziale Kontakte oder Privatheit. „Grundsätzlich geht es darum, in jeder Hinsicht so weit wie möglich am normalen Alltag teilhaben zu können.“

In Interviews für Radiosender und Zeitungen wurden die Göttinger Wissenschaftlerinnen schon des Öfteren gefragt, was es für eine „gelungene Integration“ braucht. „Wenn das so einfach wäre“, sagt Shahd Wari. „Für mich besteht der erste Schritt darin, dass man versteht, dass es nicht *den einen* Flücht-

ling gibt.“ Die Situation sei für jeden Flüchtling eine andere, sowohl was seine Herkunft angehe als auch die Lebensumstände in den Flüchtlingsunterkünften oder der Stadt, in der er lebt.

Steven Vertovec, Direktor am Göttinger Max-Planck-Institut, betont, dass Migranten sehr unterschiedliche soziale Fähigkeiten und Hintergründe haben, die es ihnen von vornherein leichter oder schwerer machten, sich in Deutschland zurechtzufinden: „Einige Asylbewerber schaffen es, herzliche Beziehungen zur hiesigen Bevölkerung aufzubauen, auch wenn sie nicht über gute Sprachkenntnisse verfügen. Andere lernen gut Deutsch, finden eine Arbeit, haben aber dennoch kaum soziale Kontakte.“

In den Unterkünften kumulieren all diese Unterschiede. „Ein Flüchtling hat die Situation einmal sehr schön zusammengefasst“, erzählt Shahd Wari: „Er meinte, jedes Zimmer sei eine Kultur für sich. Das trifft es.“ Die Forscherinnen haben das auch daran gemerkt, dass es mitunter extrem schwierig ist, einen passenden Übersetzer zu finden. „Bei Arabisch können viele helfen, aber für einen Flüchtling aus einer Bergregion im Iran, aus Belutschistan, konnte man monatelang keinen Übersetzer finden, eine Anhörung beim Bundesamt für Migration und Flüchtling war damit gar nicht möglich.“

Und selbst wenn ein Übersetzer zur Verfügung stehe, sei es manchmal schwierig, einen Draht zum Flüchtling zu finden, weil sehr schnell sehr private Dinge berührt würden.

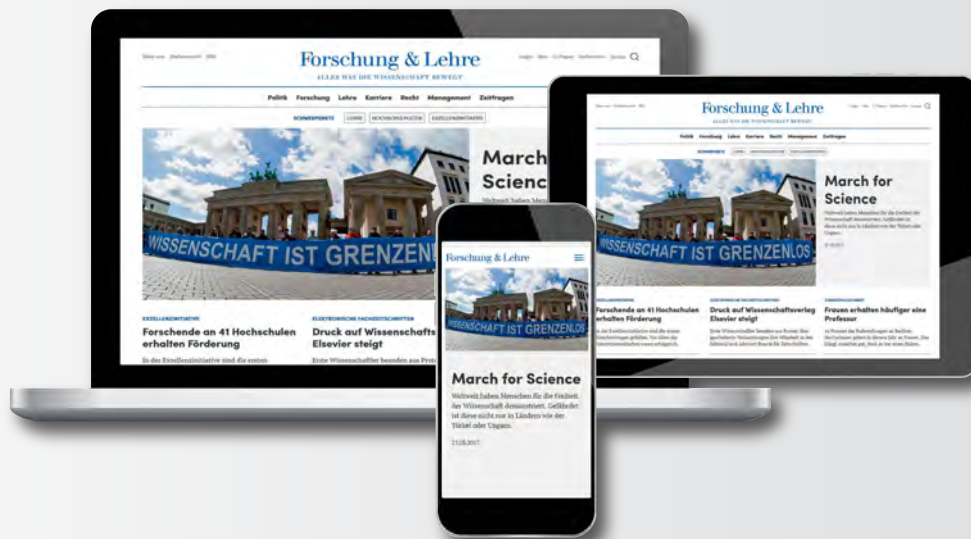
Für viele Asylbewerber ist der Weg zu einem selbstbestimmten, sicheren Alltag in Deutschland lang. Vor allem der Anfang ist schwer. Simona Pagano, Shahd Wari und Susanne Becker wollen jetzt weitere Antworten darauf finden, wie er in Zukunft weniger steinig sein kann. Mit vielen Asylbewerbern und Asylbewerberinnen sind die Forscherinnen inzwischen befreundet. „Wir verbringen viel Zeit zusammen, auch ganz unabhängig von unseren Arbeitszeiten“, sagt Wari.

Ein Treffpunkt hat ihr in dem Jahr der Studie besonders gut gefallen. Ein Café in Göttingen, in dem Einheimische und Asylbewerber locker ins Gespräch kommen können. Das Besondere: Hier muss nur eines von zwei Getränken bezahlt werden. Der Drink für die Asylbewerber geht aufs Haus oder wird von anderen Gästen übernommen. Überhaupt sind Shahd Wari Orte wichtig, an denen man sich begegnen kann – gemeinsame Hobbykurse, gemeinsame Frühstücke. „Es gibt sehr viel. Entscheidend ist am Ende, dass ein solidarisches Miteinander zwischen den Geflüchteten und den Einheimischen entsteht.“

AUF DEN PUNKT GEBRACHT

- Wissenschaftler haben die Situation von Asylsuchenden in Göttinger Flüchtlingsunterkünften detailliert erfasst, um deren Bedürfnisse und Ziele sowie deren subjektive Sicht auf die Lage kennenzulernen.
- Dabei wurde deutlich, wie vielfältig die Gruppe der Flüchtlinge zusammengesetzt ist.
- Die Ergebnisse der Studie sollen dazu beitragen, dass Flüchtlinge in Deutschland von Anfang an besser Fuß fassen können.
- So sollten ihnen ihre Rechte und Pflichten sowie das Verfahren für ihre Anerkennung von vornherein klar und transparent vermittelt werden.
- Zudem sollten sich die Verantwortlichen mehr bemühen, auf grundlegende Bedürfnisse Rücksicht zu nehmen

Forschung & Lehre



Ab dem 15. Februar entdecken: Die neue Website von Forschung & Lehre, der auflagenstärksten hochschul- und wissenschafts-politischen Zeitschrift Deutschlands. Im modernen und responsiven Design erwarten Sie aktuelle Nachrichten, Hintergrundberichte, Interviews und Essays zu hochschulpolitischen und -rechtlichen Fragen. Ergänzende Ratgeber informieren über Karriereperspektiven und Karrierepraxis in Hochschule und Wissenschaft. Das alles jederzeit, tagesaktuell und optimiert für jedes Endgerät.

Mit dem Karriereportal academics bietet Forschung & Lehre darüber hinaus gemeinsam mit der ZEIT einen attraktiven und nutzer-zentrierten akademischen Stellenmarkt.

Schauen Sie ab dem **15. Februar** vorbei auf:

www.forschung-und-lehre.de

Am Rande

Wer ausgeschlossen ist, wird leicht übersehen. Exklusion kann ganz unterschiedliche Ursachen und Konsequenzen haben – auch in Zusammenhang mit Migration. Sechs Max-Planck-Institute haben sich in einem institutsübergreifenden Projekt des Themas angenommen. Darin gehen sie unter anderem der Frage nach, warum Einwanderer oft ihre gute Gesundheit einbüßen. Sie ergründen, was geflüchtete Somalier dazu bewegt, von Europa nach Kenia zu ziehen, und welche Folgen der EU-Türkei-Deal für die Rechte von Asylbewerbern in Griechenland hat. Das gemeinsame Ziel: Exklusion sichtbar machen und faire Regeln für Migration erarbeiten.

INTERVIEW UND TEXTE **MECHTHILD ZIMMERMANN**



Zwei Welten: Im hessischen Marburg trennt nicht nur der Zaun das Leben in der Zeltunterkunft von dem in den Häusern ringsum. Insgesamt sind die Asylbewerber von vielem ausgeschlossen; sie dürfen nicht arbeiten und das Land Hessen nicht verlassen.



„Die andere Seite der Medaille“

Marie-Claire Foblets vom Max-Planck-Institut für ethnologische Forschung über die Ziele der Forschungsinitiative zum Thema Exklusion

Vor dem Hintergrund der Flüchtlingskrise im Herbst 2015 hat die Max-Planck-Gesellschaft eine Forschungsinitiative zu Migration ins Leben gerufen. Die Idee: Verschiedene Institute, die bereits in diesem Feld arbeiten, bündeln ihre Kompetenzen, um neue Erkenntnisse in diesem gesellschaftlich bedeutenden Bereich zu sammeln. Marie-Claire Foblets koordiniert das Projekt zusammen mit Ayelet Shachar und Steven Vertovec vom Max-Planck-Institut zur Erforschung multireligiöser und multiethnischer Gesellschaften.

Integration gilt als die größte Herausforderung für die Gesellschaft. Warum forschen Sie und Ihre Kollegen nicht in diesem Bereich, Frau Foblets?

Marie-Claire Foblets: Integration ist ein sehr wichtiges Thema! Es wäre naheliegend, sich damit zu beschäftigen. Aber wir haben bewusst erst einmal das wissenschaftliche Feld sondiert und sind dabei auf außerordentlich viele Projekte gestoßen, die sich mit Integration befassen. Dabei gerät meistens aus dem Blick, dass bei dem Bemühen um Integration auch Menschen ausgegrenzt oder ausgeschlossen werden.

Was interessiert Sie besonders am Thema Exklusion?

Exklusion ist nie ganz vermeidbar. Jede menschliche Gemeinschaft legt fest, wer dazugehört und wer nicht. Allerdings sind Integration und Exklusion zwei Seiten einer Medaille, sie schließen einander nicht aus. Einwanderer von außerhalb der EU haben bei uns zum Beispiel begrenzte politische Rechte – was nicht bedeutet,

dass sie in ihrem Umfeld in Deutschland nicht gut vernetzt sein können. Manche sind auch sehr gut ausgebildet, bekommen aber trotzdem nur eine befristete Aufenthaltserlaubnis. Auch die Zeit spielt eine Rolle. Unser Ziel ist, die Mechanismen und Dynamiken von Exklusion besser zu verstehen.

Ist Exklusion vor allem das Ergebnis staatlicher Regelungen?

Der Staat ist ein sehr wichtiger Akteur. Er bestimmt, welche Rechte und Pflichten Einwanderer haben und von welchen sie ausgeschlossen sind. Der rechtliche Status ist daher ein Schwerpunkt unserer Initiative. Wir hinterfragen die Kriterien, nach denen die Entscheidungen über Exklusion oder Integration fallen, und wie diese dann umgesetzt werden – oder auch nicht. Entsprechen sie den Menschenrechten? Sind sie klar definiert, oder lassen sie Raum für Abwägung im Einzelfall? Gibt es die Gefahr der Willkür?

Aber natürlich spielt auch der sozioökonomische Status – also Arbeitsmarktposition, Wohnverhältnisse, Bildung, Vernetzung vor Ort und Vertrautheit mit der deutschen Gesellschaft – eine wesentliche Rolle. Hier in Europa ist der sozioökonomische Status entscheidend für die Anerkennung, die ein Mensch erhält. Gerade diejenigen, die krank oder traumatisiert, also am meisten auf Schutz angewiesen sind, laufen Gefahr, ausgegrenzt zu werden. Aber auch anerkannte Flüchtlinge, die mit Einheimischen rechtlich nahezu gleichgestellt sind, können sich oftmals gesellschaftlich ausgeschlossen fühlen.

Woran liegt das?

In jeder Gesellschaft gibt es emotionale Gemeinschaften. Das sind Gruppen, denen sich Menschen zugehörig fühlen. Die Zugehörigkeit definiert sich über zahlreiche informelle Kriterien und ungeschriebene Regeln wie Verhalten, Werte, Sprache, Religion und vieles mehr. Wer nicht all das verinnerlicht hat, bleibt außerhalb dieser Kreise. Und gerade für jemanden, der nicht hier aufgewachsen ist, kann es sehr schwer sein hineinzufinden.

Ist es nicht eine Frage der Zeit, bis jemand, der neu kommt, die Regeln lernt?

Zeit spielt eine wichtige Rolle. Exklusion kann allerdings extrem lange anhalten. Ein Teilprojekt des MPI für Bildungsforschung greift dazu zwei Beispiele aus der Geschichte auf. In dem einen geht es um die Integration deutscher Heimatvertriebener nach 1945. Bis sie als Teil der lokalen Bevölkerung akzeptiert wurden und sich auch zugehörig fühlten, dauerte es länger als eine Generation. Das zweite Beispiel befasst sich mit Flüchtlingen, die 1947 nach der Teilung Indiens gewaltsam aus Pakistan vertrieben wurden. Auch sie brauchten Jahrzehnte, bis sie in Indien, ihrer neuen Heimat, integriert waren.

*Bei manchen Migrant*innen hat man den Eindruck, dass sie gar nicht dazugehören wollen, sondern lieber unter sich bleiben.*

Das gibt es auch. Aber das lässt sich zum Teil als Reaktion auf vorangegangene Ausgrenzung erklären. Menschen, die ausgeschlossen werden oder sich so fühlen, entwickeln ein Verhalten, wie sie damit zurechtkommen. Wer in der Gesellschaft

keine angemessene soziale Anerkennung findet, kann sich entweder so lange bemühen und engagieren, bis es ihm gelingt. Oder resignieren und sich einer anderen emotionalen Gemeinschaft anschließen. Wer rechtlich nicht als Asylbewerber anerkannt wird, kann vor Gericht gehen. Er kann auch oft gute Gründe anführen, um nicht abgeschoben zu werden. Oder aber er taucht unter, um sich selbst zu schützen.

Das Letztgenannte ist ja nicht gerade im Sinne des Gesetzes ...

...aber eine Konsequenz, der man sich bewusst sein sollte. Auch darauf werden wir in der Forschungsinitiative ein Augenmerk richten. Jede rechtliche Regelung ist dazu da, dass Menschen sie nutzen. Wenn das nicht möglich ist, muss man einsehen, dass für manche die Perspektive, abgeschoben zu werden, so abschreckend ist, dass sie alles daransetzen, das zu verhindern. Wir sollten bedenken, wie wir uns selbst in einer solchen Situation verhalten würden.

Es erstaunt immer wieder, wie unterschiedlich Flüchtlinge in Deutschland behandelt werden. Das geht von der Arbeitserlaubnis bis zur Abschiebung ...

Tatsächlich unterscheiden sich die Regelungen und die Anwendung der Gesetze zwischen den Ländern stark. Besonders problematisch kann es sein, wenn Flüchtlinge über lange Zeit in großer Unsicherheit leben müssen. Dieser Zustand in der Schwebe kann zu einer extremen Belastung werden. Die Menschen wissen nicht, ob es sich lohnt, soziale Kontakte zu knüpf-



„Eine Stärke unseres gemeinsamen Projekts ist, dass die einzelnen Teams von Daten, Wissen und Kenntnissen der jeweils anderen profitieren können“, sagt Marie-Claire Foblets.

fen, die Sprache zu lernen und sich selbst um eine Arbeit zu bemühen, wenn alles, was sie sich hier aufbauen, möglicherweise nur wenige Wochen oder Monate Bestand hat.

Das Thema Migration ist einer der Hauptstreitpunkte bei den Verhandlungen für eine neue Bundesregierung. Können Sie die Politik da nicht unterstützen, zum Beispiel mit dem Entwurf eines Einwanderungsgesetzes? Wir machen Grundlagenforschung, keine politische Beratung. Das heißt, wir sammeln zuerst Erkenntnisse – konkret eben über die Mechanismen und Zusammenhänge von Exklusion und Migration. Eine

Stärke unseres gemeinsamen Projekts ist, dass die einzelnen Teams von Daten, Wissen und Kenntnissen der jeweils anderen profitieren können. Wenn wir aus diesen Ergebnissen ein Gesamtbild formen, werden wir Defizite und Widersprüche im System klar benennen können. Die akademische Freiheit gibt uns die Möglichkeit, unabhängig von politischen Konzepten und wahltaktischen Überlegungen zu denken. Auf dieser Basis haben wir durchaus vor, Alternativen zu den bestehenden Regelungen zu erarbeiten und in die Politik einzubringen. Aber dazu brauchen wir Zeit, die noch notwendigen Daten zu sammeln und zu analysieren.

Rückkehr oder Neuanfang?

Somalische Flüchtlinge ziehen nicht nur von Afrika nach Europa, es gibt auch eine Gegenbewegung. Ein Projekt am Max-Planck-Institut für ethnologische Forschung in Halle fragt nach den Beweggründen und untersucht die Folgen.

Seit dem Zusammenbruch des somalischen Staates Anfang der 1990er-Jahre sind Hunderttausende Menschen vor den militärischen Konflikten zwischen Warlords, Clans und diversen

Milizen geflohen. Die meisten von ihnen gingen zunächst in die Nachbarländer, zum Beispiel nach Kenia. Wem es möglich war, der zog weiter nach Europa, Nordamerika oder auch in arabische Länder.

Seit einiger Zeit gibt es einen gegenläufigen Trend, wie Tabea Scharrer vom Max-Planck-Institut für ethnologische Forschung in Halle beobachtet: Somalier gehen aus Europa wieder nach Ostafrika, und damit auch nach Kenia. Besonders in den kenianischen Städten leben viele Somalis: Teils sind sie kenianische Bürger, teils geflüchtete Somalier, von denen viele mittlerweile seit Jahrzehnten in Kenia leben. Dazu kommen nun somalische Familien meist aus westlichen Ländern, teils aus arabischen Staaten.

Im ostafrikanischen Kontext gehören sie der Mittel- oder Oberschicht an – sie stammen aus vermögenden Familien oder haben sich außerhalb Afrikas wirtschaftlich etabliert. Zudem haben die meisten von ihnen die Staatsbürgerschaft der Länder angenommen, in denen sie viele Jahre gelebt haben. Viele Familien gehen nach Ostafrika, weil die Elterngeneration fürchtet, ihre Kinder seien zu stark vom westlichen Leben beeinflusst. Aber auch junge Leute, die außerhalb Afrikas aufgewachsen sind und dort eine Berufsausbildung gemacht haben, versuchen nun, in Kenia Fuß zu fassen.

Dieses Phänomen will Tabea Scharrer genauer untersuchen. Eine wichtige Frage des Projekts lautet, welche Gründe die Menschen dazu bewegen, aus Europa nach Ostafrika „zurückzukehren“. Exklusion könnte eine wichtige Rolle spielen: Fühlten sie sich in ihrer neuen Heimat nicht zu Hause? Wurden die Kinder in der Schule benachteiligt? Fanden sie zu wenig Anschluss an die Gesellschaft? Und wie leben die „Rückkehrer“ in Ostafrika, gelingt es ihnen dort besser, heimisch zu werden?

Ein weiteres Thema ist der potenzielle Einfluss der Rückkehrer auf die

Zurück in Mombasa: In Häusern wie diesem leben Somalier der Mittelschicht, die von Europa nach Kenia gezogen sind.



somalische Gesellschaft in Kenia. Unter Somaliern ist häufig zu beobachten, dass sie sich stark über ihre ethnische Zugehörigkeit definieren. Die Schwierigkeit, die eigene Kultur in den westlichen Industrieländern aufrecht zu erhalten, ist für manche Somalier die wesentliche Motivation zurückzukehren. In Kenia könnten sie allerdings da-

mit die konservative Haltung der somalischen Gesellschaft weiter verstärken und ebenso die Tendenz, sich von anderen kenianischen Bevölkerungsgruppen abzugrenzen.

Für Tabea Scharrer sind aber auch entgegengesetzte Entwicklungen denkbar. Die Zeit außerhalb der somalischen Gesellschaft Ostafrikas könnte auch ei-

nen kosmopolitischen Lebensstil hervorbringen – vor allem bei den Kindern der Rückkehrer, die oft lieber in Europa oder Nordamerika geblieben wären. Ihre Erfahrungen mit der Migration und dem Leben in anderen Gesellschaften könnte also auch dazu führen, dass die Gesellschaft der Somalier in Kenia offener und vielfältiger wird. ◀

Welche Rechte gelten in den griechischen Hotspots?

Auf mehreren griechischen Inseln hat die EU Flüchtlingslager mit eigenen Aufnahmebedingungen und Verfahren eingerichtet. Ein Forschungsprojekt am Max-Planck-Institut für ausländisches öffentliches Recht in Heidelberg prüft, ob diese Regeln rechtsstaatlichen Grundsätzen entsprechen und wie sie sich in der Praxis auswirken.

Als im Jahr 2015 immer mehr Menschen über das Mittelmeer nach Europa flüchteten, reagierte die Europäische Kommission mit der Gründung von „Hotspots“ in Italien und Griechenland. In diesen Lagern, die als Notfallmaßnahme gedacht waren, sollten Flüchtlinge Unterkunft finden, sich registrieren lassen und Asylanträge stellen können. Mittlerweile sind diese Hotspots zu einer Dauereinrichtung geworden.

Im März 2016 vereinbarte die EU einen „Deal“ mit der Türkei, wonach Migranten, die von der Türkei illegal nach Griechenland einreisen, dorthin abgeschoben werden sollen. Seitdem dienen die Hotspots auf den griechischen Inseln Lesbos, Chios, Samos, Leros und Kos faktisch als Abschiebelager.

Catharina Ziebritzki vom Max-Planck-Institut für ausländisches öffentliches Recht und Völkerrecht und Robert Nestler vom Max-Planck-Institut für ethnologische Forschung beschäftigen sich mit der Situation der Flüchtlinge in den Lagern. Verfahren und Aufnahmebedingungen dort stehen im Widerspruch zu verschiedenen griechischen Gesetzen, zu EU-Normen und internationalen Konventionen.

So unterschreiten schon die Lebensbedingungen in den Lagern die Mindeststandards, welche sich die EU selbst gesetzt hat. Die Unterkünfte sind überbelegt und zum großen Teil nicht winterfest. Die medizinische Versorgung ist schlecht, ebenso die Sicherheitslage. Anders als vorgesehen, verbringen die meisten Flüchtlinge dort mehrere Monate, teils sogar mehr als ein Jahr.

Eigentlich wird in den EU-Hotspots in Griechenland ein beschleunigtes Asylverfahren angewendet. Kernpunkt ist eine Zulässigkeitsprüfung: Sie soll vorab klären, ob ein Asylantrag überhaupt angenommen wird. Oder ob die Asylsuchenden in der Türkei, woher sie eingereist sind, nicht auch Schutz gefunden haben oder hätten finden können. Die Wissenschaftler kritisieren, dass dafür die Bedingungen in der Türkei den europäischen Richtlinien entsprechen müssten, was weder die EU noch die griechischen Behörden kontrollieren könnten.

Ein wesentliches Manko ist nach Ansicht der Europarechtler, dass das beschleunigte Verfahren derzeit keine rechtliche Grundlage hat. Schon nach dem EU-Türkei-Deal war ein entsprechendes Gesetz deutlich verspätet in

Kraft getreten. Seit Anfang 2017 ist dessen Geltungsfrist abgelaufen. Trotzdem wird das Verfahren weiter eingesetzt. So verkürzt es etwa die Einspruchsfrist gegen die Ablehnung eines Asylantrags von 30 Tagen auf fünf. Vor dem Hintergrund, dass die Asylbewerber in den Hotspots kaum Zugang zu juristischen Informationen und Rechtsberatung haben, halten die Juristen dies für äußerst problematisch.

Als fragwürdig stufen Ziebritzki und Nestler zudem die Rolle der Europäischen Unterstützungsagentur für Asylfragen (EASO) ein. Eigentlich sollte die Agentur die griechische Verwaltung nur unterstützen. Tatsächlich hat sie je-

doch erheblichen Einfluss auf die Asylentscheidung. Nach Recherchen der Wissenschaftler sind für die Zulässigkeitsprüfung meistens ausschließlich EASO-Mitarbeiter zuständig. Sie führen die Anhörung mit den Asylsuchenden, erstellen ein Protokoll und geben eine „Empfehlung“, welcher die griechische Asylbehörde in aller Regel folgt.

Auch in anderen Bereichen des Asylverfahrens spielt die Agentur eine einflussreiche Rolle – und das ohne juristische Einspruchsmöglichkeit, monieren die beiden Forscher. Denn es gibt kein Gericht, das effektiven Rechtsschutz gegen Tätigkeiten der EASO gewährleistet – ein Manko, das übrigens

auch auf die Grenzschutzagentur Frontex zutrifft und auf Europol, die EU-Polizeibehörde. Die einzige Möglichkeit, Rechte gegenüber diesen Institutionen einzufordern, ist bisher eine Beschwerde beim Europäischen Ombudsmann.

Für die Wissenschaftler ergeben sich daraus weitere Forschungsfragen: Ihre These ist, dass die EU zunehmend Einfluss auf Asylentscheidungen nimmt – nicht nur rechtlich, sondern auch administrativ. Die Forscher wollen deshalb die Funktion und die Arbeitsweise der EASO sowie die Verantwortlichkeit der EU für die Rechtsverletzungen in den griechischen Hotspots genauer untersuchen. ◀



Eiseskälte im Hotspot: Auch mehrere Jahre nach Einrichtung der Flüchtlingslager auf den griechischen Inseln ist ein Teil der Unterkünfte nicht winterfest.



Neue Heimat Manhattan: Mehr als ein Drittel der New Yorker sind außerhalb der USA geboren. Die Einwanderer sind in der Regel gesünder als die angestammten Bewohner.

Macht Ausgrenzung Migranten krank?

Aus den USA weiß man: Einwanderer sind meist gesünder als gleichaltrige Durchschnittsbürger. Doch mit der Zeit verliert sich der Effekt. Wissenschaftler vom Max-Planck-Institut für demografische Forschung in Rostock ergründen, ob dieses Phänomen auch für Europa gilt und welche Ursachen dafür verantwortlich sind.

Wer sich auf den Weg macht, um sein Leben in einem fremden Land neu zu beginnen, bringt in der Regel eine Voraussetzung mit: Er ist rundum gesund. Menschen mit chronischen Krankheiten oder anderen körperlichen Gebrechen wandern selten aus. In der Wissenschaft ist dieses Phänomen als *healthy migrant effect* bekannt. Wie mehrere internationale Studien belegen, sind Einwanderer im Schnitt gesünder als ihre neuen Mitbürger. Und in einem weiteren Punkt unterscheiden sie sich: Normalerweise gibt es einen deutlichen Zusammenhang zwischen dem sozioökonomischen Status von Menschen, also Bildung, Beruf und Einkommen, und ihrem Gesundheitszustand. Arme und sozial Benachteiligte leiden etwa deutlich öfter an Herzkrankungen, Diabetes oder Asthma als die übrige Bevölkerung. Bei Einwanderern ist dieser Zusammenhang weit weniger zu beobachten.

Die Vorteile in Sachen Gesundheit gelten jedoch vor allem für neu Eingewanderte. Je länger Zuwanderer in der

neuen Heimat leben, desto geringer werden die Unterschiede zur angestammten Bevölkerung. Diese Erkenntnisse sind vor allem für klassische Einwanderungsländer wie die USA und Kanada gut belegt. Untersuchungen in Europa haben bisher zu widersprüchlichen Ergebnissen geführt.

Ein Team um Mikko Myrskylä vom Max-Planck-Institut für demografische Forschung untersucht nun mithilfe großer Datensätze aus Italien, Finnland und Schweden den *healthy migrant effect* systematisch für Europa. Die Forscher vermuten, dass sich der Effekt hier ebenfalls nachweisen lässt und dass er gleichermaßen mit der Zeit nachlässt. Im Mittelpunkt der Untersuchung steht die Frage nach den Ursachen: Warum verschlechtert sich der Gesundheitszustand von Zugewanderten mit der Zeit?

Die Forscherinnen und Forscher haben die These aufgestellt, dass vor allem Ausgrenzung dafür verantwortlich ist. Denn Eingewanderte haben in vielerlei Hinsicht Nachteile: Sie können nicht so leicht soziale Kontakte knüpfen, weil sie die Sprache oft nur schlecht beherrschen. Sie arbeiten häufig in

schlecht bezahlten und wenig angesehenen Berufen – teils wegen ihrer Sprachprobleme, teils weil ihre Abschlüsse nicht anerkannt werden. Auch im Gesundheitssystem ist die Sprachbarriere eine Hürde. Dazu kommt, dass ein gesunder Lebensstil bei Eingewanderten weniger verbreitet ist als bei Einheimischen, auch weil Gesundheitskampagnen sie weniger erreichen.

Wenn die Wissenschaftler nachweisen können, dass sozioökonomische Benachteiligung die Gesundheit der Zugewanderten beeinträchtigt, wäre das eine wichtige Erkenntnis für die Gesellschaft insgesamt. Bislang ist schwer nachvollziehbar, in welchem kausalen Zusammenhang soziale Ausgrenzung und Gesundheit stehen. Sind Menschen krank, weil sie ausgegrenzt sind? Oder sind sie ausgegrenzt, weil gute Bildungsabschlüsse und eine einträgliche Arbeit nur mit guter Konstitution zu erreichen sind? Sicher existieren beide Zusammenhänge. Da die Einwanderer ursprünglich überdurchschnittlich gesund waren, zeigt ihr Beispiel möglicherweise, welchen Einfluss soziale Ausgrenzung auf die Gesundheit haben kann. ◀



Gelebter Glaube: In Ceuta, einer spanischen Exklave in Nordafrika, sind die Religionsgemeinschaften sehr stark in der Öffentlichkeit präsent: Christen – hier bei einer traditionellen Prozession zur Karwoche – ebenso wie Muslime, Juden und Hindus.



Modell für mehr Miteinander

Sie gilt als goldenes Zeitalter der Toleranz: die Convivencia – eine Epoche friedlichen Zusammenlebens von Muslimen, Juden und Christen im mittelalterlichen Spanien. Bis heute lebt der Mythos dieser Ära fort. Forscherinnen und Forscher der **Max-Planck-Institute für ethnologische Forschung** in Halle und **für Wissenschaftsgeschichte** in Berlin untersuchen die Historie der Convivencia und ihre Vorbildfunktion für die heutige Zeit.

TEXT JEANNETTE GODDAR

Wenn das Lichterfest Diwali ansteht, das Menschen hinduistischen Glaubens über Tage zu farbenfrohen Umzügen auf die Straßen zieht, wird auch um die Plaza de los Reyes in Ceuta feierlich geschmückt. Mehr als 50 000 Leuchten zählte die Online-Tageszeitung *Ceuta Actualidad* 2016 in den Straßen der Altstadt. Auch der Stadtbere stattete – wie in den Vorjahren – der hinduistischen Gemeinde einen Besuch ab: Juan Jesús Vivas, der wegen des besonderen Status Ceutas den Titel Bürgermeister-Präsident trägt. Seit 2001

regiert der 64-Jährige die spanische Exklave, an die im Westen Marokko und im Osten das Mittelmeer grenzen.

RELIGIÖSE FESTE SOLLEN KONTAKTE ERMÖGLICHEN

Der Öffentlichkeit ist Ceuta weniger als Kommune bekannt denn als Chiffre für das Aufeinandertreffen Europas und Afrikas: In Ceuta wie in Melilla hat die Europäische Union eine Grenze jenseits des Mittelmeers. Wer etwas aus Ceuta in den Medien erfährt, sieht meist Bilder von Menschen, die über Zäune klettern; auch die Überschrift „Terrornest an der



Oben Unter einem Dach: In diesem Hindu-schrein in Ceuta finden sich nicht nur Bilder der Göttin Durga und weiterer hinduistischer Gottheiten, sondern auch christliche und muslimische Symbole.

Unten Unter freiem Himmel: Mit dem traditionellen Festgebet begehen Muslime in Ceuta gemeinsam das Ende des Fastenmonats Ramadan.

Außengrenze“ war bereits in einer an sich seriösen überregionalen Zeitung mit Sitz in Zürich zu lesen.

Juan Jesús Vivas kommt nicht etwa, weil besonders viele der 82000 Einwohner an Brahma, Shiva, Vishnu und all die anderen Götter glaubten; mehr als 95 Prozent der Ceutaner sind Christen und Muslime. Vivas kommt, weil er das gemeinsame Begehen religiöser Anlässe – sei es Diwali, Jom Kippur, das Opferfest oder Ostern – als Mittel zur Förderung des sozialen Friedens begreift. „Als Vivas 2001 Bürgermeister wurde, war Ceuta massiv gespalten“, sagt der Ethnologe Brian Campbell vom Max-Planck-Institut in Halle.

Christen und Muslime blieben unter sich. Wer das Sagen hatte, war klar definiert: Die Christen hielten sich für die einzigen wahren Bürger und teilten die Macht unter sich auf; die Muslime mussten sehen, was übrig bleibt. Die Eindeutigkeit, wer dazugehören soll und wer nicht, ging so weit, dass Zuwanderer aus Südamerika, die in den 1980er-Jahren gekommen waren,

früher eingebürgert wurden als seit Generationen in der Stadt lebende Muslime. Mit- oder auch nebeneinander leben Christen und Muslime in Ceuta, seit Portugal es im 15. Jahrhundert eroberte. Später wurde es an Spanien abgetreten.

CEUTA LÄSST SICH NICHT AUF SEINE GRENZEN REDUZIEREN

Brian Campbell stammt selbst von einer EU-Außengrenze: aus Malta. In teils mehrmonatigen Aufenthalten mischt er sich seit 2011 immer wieder unter die Ceutaner. Angefangen habe alles, weil er zu Beginn seiner wissenschaftlichen Laufbahn, als Doktorand, ein „Paradebeispiel für eine multikulturelle Gesellschaft“ gesucht habe, erzählt er. Gefunden hat er – neben vielem anderen – einen Ort, an dem Menschen zwar unter außergewöhnlichen Bedingungen miteinander leben und der dennoch mit der Darstellung in den europäischen Medien nichts zu tun hat. „Ceuta lässt sich nicht auf seine Grenzen reduzie-

» Jede Gesellschaft trägt die Wurzeln für Gewalt in sich –
aber auch das Potenzial für Versöhnung.

ren“, erklärt Campbell, „dort wohnen Menschen, die ihre Stadt lieben und, wie anderswo auch, versuchen, das Beste aus ihrem Leben zu machen.“

Und das unterstützt vom Bürgermeister: In einer Umgebung, in der ethnische Herkunft und Religion extrem verknüpft sind, Muslime nahezu immer marokkanische Vorfahren haben und Christen fast immer iberischer Abstammung sind, macht Juan Jesús Vivas die verschiedenen Religionsgemeinschaften gezielt zu stadtpolitischen Akteuren: „Anstatt Ethnizität, Kultur und Religion zu verdrängen, nutzt er diese, um Menschen in Kontakt zu bringen, er besetzt sie also positiv und nicht negativ“, sagt Brian Campbell.

Jede religiöse Gemeinschaft, die Feste oder andere Rituale begeht, bekommt finanzielle Unterstützung. Unumstößliche Voraussetzung ist: Die Räume und Plätze – und auch das Buffet – müssen allen Bürgerinnen und Bürgern offenstehen, also auch denen, die einer anderen oder keiner Religion angehören. Das schafft, darauf kommt erst einmal jeder, Gelegenheit zum Kennenlernen und zum Austausch und birgt somit die Chance zum Aufbau von Vertrauen. Campbell berichtet, es gehe aber um mehr. Um ein Gefühl von Zusammengehörigkeit, das festschreibt: Egal, an wen oder an was wir glauben – wir sind alle Spanier.

Der Bürgermeister hat dem Modell einen Namen gegeben: Convivencia. Schlägt man dazu ein spanisch-deutsches Lexikon auf, findet man sowohl den Begriff Koexistenz als auch den des Zusammenlebens; was, übertragen auf Gesellschaften aller Couleur und sogar auf die Familie, nicht dasselbe

ist: In dem einen Fall nutzt man zu mehreren einen Raum, in dem anderen auch gemeinsam all die Strukturen, in denen Zusammenleben organisiert wird, Kontakte inklusive. „Menschen, die zusammenleben, teilen sich mehr als nur die Fläche“, fügt Campbell hinzu, „sie leben nicht neben-, sondern miteinander.“

DIE CONVIVENCIA WAR EINE BLÜTEZEIT IN SPANIEN

In der Geschichtsschreibung, in der spanischen erst recht, steht Convivencia allerdings für deutlich mehr: für eine Epoche, in der weite Teile der Iberischen Halbinsel unter muslimischer Herrschaft standen und die als „al-Andalus“ bekannt wurde. Im Jahr 711 brachte der berberisch-muslimische Feldherr Tariq Ibn Ziyad, über das Mittelmeer kommend, das damalige Reich der Westgoten unter seine Kontrolle. Damit setzte er den Startpunkt für eine Zeit, in der zunächst ein Kalifat und später zahlreiche zunächst muslimische Königreiche die Halbinsel regierten, die im Zuge der sogenannten Reconquista zunehmend unter christliche Herrschaft kamen.

Außer von Christen und Muslimen wurde das Gebiet auch von einer großen Gruppe Juden bewohnt. Erst mit der Reconquista 1492 erlangten die Christen die ganze Macht zurück und wollten in Folge auch das ganze Land für sich: Aus dem Jahr 1614 ist die Vertreibung der letzten Muslime überliefert – obwohl viele von ihnen längst zum Christentum konvertiert waren.

Damit ging auch eine Ära zu Ende, in der Spanien geistig, kulturell und



Ceutaner auf Zeit: Der Ethnologe Brian Campbell hat immer wieder Wochen oder sogar Monate in der spanischen Exklave verbracht, um das Zusammenleben der verschiedenen Religionen und Ethnien kennenzulernen.



Links Kollegialer Austausch: Helge Wendt, Elena Serrano und Mònica Colominas (von links) beschäftigen sich am Max-Planck-Institut für Wissenschaftsgeschichte mit historischen Aspekten der Convivencia.

Rechts Epochenübergreifender Dialog: Eine Darstellung aus dem 14. Jahrhundert zeigt den islamischen Philosophen Averroes (links) im fiktiven Disput mit dem antiken Gelehrten Porphyrios. Averroes, der im 12. Jahrhundert in Spanien lebte, ist bekannt für seine Auseinandersetzung mit der antiken griechischen Philosophie, besonders mit Aristoteles' Werken.

wirtschaftlich blühte: Córdoba, die Hauptstadt des Kalifenreichs, war im 10. Jahrhundert die drittgrößte Stadt der Welt; berühmt für Kunst und Handwerk ebenso wie für Poesie und Philosophie. Zu den beliebtesten Geschichten aus „al-Andalus“ gehört die Auseinandersetzung mit Aristoteles und der antiken griechischen Philosophie seitens muslimischer Philosophen, allen voran des Denkers Ibn-Rushd, in Europa besser bekannt unter dem lateinischen Namen Averroes.

AUCH IN DER GOLDENEN ÄRA WAR DER FRIEDEN BRÜCHIG

Umstritten ist, wie es um die Frage „Koexistenz oder Zusammenleben“ bestellt war; und wie und ob es überhaupt friedlich zugeht im christlich-jüdisch-muslimischen Miteinander. Einerseits hält sich die Vorstellung eines goldenen Zeitalters der Toleranz und gibt es Belege dafür, dass es zwischen den Religionen – übrigens auch bei gemeinsamen Festen – ein Zusammengehörigkeitsgefühl gab. Andererseits konnte von Gleichwertigkeit nicht die Rede sein; wer regierte, bestimmte mit un-

terschiedlich harten Bandagen. Immer wieder kam es zu Konflikten, ebenso zu religiös motivierter Verfolgung – bis hin zu Morden, etwa 1066 an der jüdischen Bevölkerung in Granada.

Günther Schlee, Direktor am Max-Planck-Institut für ethnologische Forschung in Halle, spricht von einer Ära „relativen Friedens mit Höhen und Tiefen“, allerdings ohne auch nur annähernd gleiche Rechte: „Unter dem Aspekt des modernen Gleichheitsgebotes lässt sich die damalige Gesellschaft nicht betrachten“, sagt Schlee. Stattdessen begriffen etwa die Kalifen die Nicht-Muslime als *dhimmis*, als Schutzbefohlene: „Sie trieben von ihnen Steuern ein, teilten ihnen eine klare Rolle zu, etwa dazu, welche Berufe sie ausüben durften, und gewährleisteten im Gegenzug einen gewissen Schutz“, erklärt der Wissenschaftler.

Günther Schlee und der Postdoktorand Brian Campbell sind nur zwei von rund 15 Beteiligten eines Forschungsverbunds unter dem Dach der Max-Planck-Gesellschaft. Unter dem Titel „Convivencia. Iberian to Global Dynamics 500–1750“ forschen sie gemeinsam mit Wissenschaftlern aus

den Max-Planck-Instituten für Wissenschaftsgeschichte in Berlin und für europäische Rechtsgeschichte in Frankfurt am Main und dem ebenfalls zur Max-Planck-Gesellschaft gehörenden Kunsthistorischen Institut in Florenz.

DIE RELIGIONEN MASSEN SICH IN DISPUTEN

Als externer Wissenschaftler beteiligt ist der US-amerikanische Historiker David Nirenberg. In seinem Werk *Communities of Violence. Persecution of Minorities in the Middle Ages* hat er sich bereits im Jahr 1996 wegweisend mit dem Zusammenleben auf der Iberischen Halbinsel beschäftigt. Grob gesprochen betrachtet Nirenberg gewalttätige Konflikte als systemische Bestandteile der Convivencia – als Teil eines Prozesses, der soziale Stabilität und friedliches Zusammenleben wieder möglich macht.

Am Max-Planck-Institut für Wissenschaftsgeschichte in Berlin stellen Historiker Fragen nach den Wegen, die das Wissen nimmt. „Uns interessiert, wie Ideen von einer menschlichen Gemeinschaft in die andere kommen, sei es zwischen Gesellschaften, über die Zei-



ten hinweg, oder auch von den akademischen oder religiösen Eliten in die Allgemeinbevölkerung“, erklärt Elena Serrano, die neben ihrer historischen Arbeit das Gesamtprojekt koordiniert. Ein Beispiel dafür ist die Arbeit ihres Kollegen Helge Wendt, der sich Schriften indigener Gruppen im 16. und 17. Jahrhundert in Mexiko und Peru widmet – und schaut, wie diese ihre in der Kolonisation unter Druck geratenen Überzeugungen festgehalten und überliefert haben.

Die Arabistin Mònica Colominas forscht in Berlin zu sogenannten Polemiken – wobei der Begriff mit dem herkömmlichen Verständnis von „polemisch“ wenig zu tun hat. Gemeint sind Schriften, in denen die verschiedenen – und konkurrierenden – Religionsgemeinschaften ihre Argumente festhielten und mit denen sie auch miteinander in Kontakt traten. Konkret untersucht die Forscherin Überlieferungen der Muslime aus der Zeit ab 1500, als die Iberische Halbinsel wieder vollständig unter christlicher Herrschaft stand.

Der Austausch von Positionen war unter Christen, Juden und Muslimen

bereits im Mittelalter durchaus üblich, erzählt Colominas: „Von Bagdad bis Barcelona kamen Anhänger verschiedener Religionen unter muslimischer wie christlicher Herrschaft zu öffentlichen Disputen zusammen.“ Auf derartige Ereignisse – die zuweilen regelrechten Arena-Charakter hatten – bereiteten sich alle mit ausgefeilten Texten vor: „Schließlich wollte doch jeder möglichst als Sieger oder zumindest möglichst gut dastehen.“

HISTORISCHE PARALLELEN GELTEN NUR BEGRENZT

Damit legen die Polemiken den Blick darauf frei, mit welchen Strategien Religionsgemeinschaften versuchten, die anderen von der Höherwertigkeit ihres eigenen Standpunkts zu überzeugen. Mit klassischer Bekehrung, ergänzt Colominas' Kollege Helge Wendt, hatte das nichts zu tun: „Das rationale Zeitalter hatte begonnen. Selbst koloniale Unternehmungen setzten öfter auf Überzeugungskraft als auf Zwangskonversion.“

Innerhalb der religiösen Gemeinschaften erfüllten die Polemiken eine

Reihe Zwecke: „Sie stärkten das Selbstwertgefühl, schafften Austausch und halfen bei der Weiterentwicklung von Ideen“, so Colominas. Und sie trugen dazu bei, Auseinandersetzungen zu kanalisieren – und erfüllten damit, ähnlich wie in Nirenbergs Theorie, eine Art Ventilfunktion. Helge Wendt hat bei seiner Analyse der indigenen Schriften noch einen weiteren Zweck ausgemacht: „Es konnten Dinge ausgesprochen werden, die eigentlich nicht gesagt werden durften: Indem einer etwas Verbotenes ausspricht, dem ein anderer – in der Regel ein Höherstehender – widerspricht, wird das Gemäßregelte dennoch transportiert. Damit bleibt es erhalten.“

Ein Blick in die von Mònica Colominas untersuchten Polemiken öffnet zudem den Blick dafür, wie sich muslimische Gemeinden des späten Mittelalters in einer christlichen Umgebung behaupteten: Wie hielten sie etwa die Fünf Säulen des Islam ein, zu denen das fünfmalige Gebet am Tag und das Fasten im Ramadan gehören? Wo machten sie, und wo erlaubten ihre religiösen Führer und Vorbeter, Kompromisse; und welche waren das? >



Parallelen zu heute liegen auf der Hand, auch wenn Colominas – ganz die Historikerin – darauf verweist, dass jede Ära anders sei und für sich stehe. Die Fragen, attestiert sie, seien allerdings ähnliche: „Damals wie heute fragen sich Menschen, mit welchen Strategien sie sich in einer Umgebung behaupten, die ganz anders tickt.“ Das wiederum trifft ziemlich genau, was das Convivencia-Projekt leisten kann und will: Ziel sei, sagt Günther Schlee, eine „allgemeine Komparatistik von gesellschaftlichen Integrationsformen. Eine, die stärker beschreibt als erklärt und aus der Sicht verschiedener Disziplinen zu einem anregenden Austausch kommt.“

Brian Campbell sagt: „Menschen suchen laufend in der Vergangenheit nach Erklärungen – Parallelen helfen, die Welt zu sortieren.“ Dem könne sich die Wissenschaft nicht verschließen. Was aber bringt der in seinem Fall gleichsam umgekehrte Blick in das heutige Ceuta für die Erforschung mittelalterlicher Zu-

stände? „Ceuta ist ein lebendes Modell“, sagt Campbell, „auf 20 Quadratkilometern fragen sich Menschen dort jeden Tag: Was verstehen wir unter Convivencia?“ Die Antwort lautet, jedenfalls in extremer Kürze und wie immer von Ausnahmen abgesehen: Convivencia soll mehr als Koexistenz sein, ein Miteinander, nicht nur ein Nebeneinander.

DIE EXKLAVE IST KEIN MULTIKULTURELLES IDYLL

Ein multikulturelles Idyll hat Campbell hingegen nicht gefunden. Im Kern schildert er Ceuta als Stadt mit einem massiven Macht- und Ressourcengefälle zwischen den nahezu gleich großen muslimischen und christlichen Bevölkerungsgruppen: mit einer nahezu ausnahmslos christlichen Mittel- und Oberschicht einerseits und hohen Arbeitslosen-, Schulabbrecher- und Armutsquoten unter Muslimen andererseits.

Auch in der Bildung – die über die Chancen und damit die Ressourcenver-

teilung von morgen entscheidet – seien die Rollen klar verteilt: „In vielen Schulen unterrichten ausschließlich christliche Lehrer ausschließlich muslimische Schüler“, sagt Campbell, „und das nur in Spanisch: Arabisch, das viele Muslime zu Hause sprechen, wird weder in den Schulen noch in der Verwaltung gesprochen.“ Dass sich viele Muslime weit entfernt sehen von einer Gleichheit der Chancen, führt zu Frustrationen – und auch zu Kritik an dem Modell: „Nicht wenige Menschen halten die gemeinsamen Rituale schlicht für einen Schachzug, der davon ablenken soll, wer dort nach wie vor die Macht hat“, sagt der Ethnologe.

Infolgedessen sind Spannungen an der Tagesordnung; zuweilen gerade rund um jene Festivitäten, welche die Menschen zusammenführen sollen. „Natürlich gibt es auch in Ceuta religiöse Gruppen, die sich weigern, gemeinsam mit anderen ein Mahl einzunehmen“, so Brian Campbell, „die Muslime gibt es dort wie überall ebenso wenig wie die

Links Staatliche Inszenierung: Alle paar Jahre sind die Ceutaner eingeladen, die spanische Flagge zu küssen und dem Land die Treue zu schwören – für Muslime ein fragwürdiges Ritual, da ihre Zugehörigkeit zu Spanien immer wieder infrage gestellt wird.

Rechts Skeptischer Betrachter: Günther Schlee, Direktor am Max-Planck-Institut für ethnologische Forschung, hinterfragt den Mythos der Convivencia. Seiner Erkenntnis nach waren die Anhänger der verschiedenen Religionen alles andere als gleichberechtigt.



Christen.“ Auch zu gewalttätigen Eskalationen komme es immer wieder.

Auch Campbell hält – nach sechsjähriger Beobachtung erst recht – Convivencia nicht für einen Zustand, sondern für einen Prozess. „Die Frage ist nicht: friedlich oder nicht friedlich, sondern die nach Konflikt und Lösungen“, sagt er. Auch das folgt Nirenbergs Ansatz, dass jede Gesellschaft die Wurzeln für Gewalt in sich trägt – aber auch das Potenzial für Versöhnung.

So betrachtet wird Convivencia zu einem Gesellschaftsmodell, das Strukturen des Dialogs schafft – was im Konfliktfall insoweit hilft, als dass diese aktiviert werden können und nicht erst mühsam aufgebaut werden müssen. Brian Campbell hofft, dass dieses Modell sich übertragen lässt: nicht auf andere Gesellschaften, aber als theoretischer Rahmen, mit dessen Hilfe Wissenschaftler auch an anderen Orten hinschauen könnten: „Passt dieser Rahmen? Und wenn er nicht passt: Warum passt er nicht?“

AUF DEN PUNKT GEBRACHT

- Ceuta, eine spanische Exklave in Nordafrika, versucht das Zusammenleben verschiedener Religionen und Ethnien zu fördern, indem religiöse Feste zum gegenseitigen Kennenlernen und Knüpfen von Kontakten genutzt werden.
- Als Modell dient die historische Epoche der Convivencia, die für friedliches Zusammenleben von Christen, Muslimen und Juden auf der Iberischen Halbinsel während des Mittelalters steht.
- Auch wenn es dort immer wieder zu gewaltsamen Konflikten kam, gibt es Belege für ein Zusammengehörigkeitsgefühl über die Religionsgrenzen hinweg und für einen intellektuellen Austausch zwischen den religiösen Gruppierungen.
- Trotzdem ist die Ära der Convivencia und ihre Adaption in Ceuta als Vorbild nur unzureichend geeignet, weil sich die Lebensbedingungen grundlegend von denen heute und hierzulande unterscheiden.

GLOSSAR

al-Andalus: Arabischer Name für die zwischen 711 und 1492 muslimisch beherrschten Teile der Iberischen Halbinsel. Zum Teil wird der Begriff auch für den Zeitraum verwendet.

Indigene Gruppen: Bevölkerungsgruppen, die vor der Kolonisierung durch andere Völker in einem Gebiet lebten.

Komparatistik: Wissenschaftszweig, der Literatur verschiedener Kulturen vergleicht, im erweiterten Sinne auch der wissenschaftliche Vergleich anderer kultureller Phänomene.

Schön traurig

Negative Gefühle genießen – eine neue Studie zeigt, warum uns das in Film und Kunst gelingt

Wir nehmen Kunstwerke, die negative Emotionen hervorrufen, oft als intensiver, interessanter und sogar als schöner wahr als ein reines Bad in positiven Gefühlen. Forscher um Winfried



Selbst gewählter Schmerz: Wer ins Kino geht, will auch negative Gefühle wie Trauer, Angst oder Wut erleben.

Menninghaus, Direktor am Max-Planck-Institut für empirische Ästhetik, haben ein Modell entwickelt, das dieses scheinbare Paradox erklärt. Dazu haben die Wissenschaftler neue Erkenntnisse der Emotionspsychologie mit grundlegenden Prinzipien ästhetischer Wahrnehmung kombiniert. Das Modell enthält zwei Faktoren. Erstens ordnen Menschen die Wahrnehmung von Kunstwerken in eine andere Kategorie von Erlebnissen ein als die der alltäglichen Realität. Diese kognitive Distanzierung schafft eine Art Sicherheitsraum, in dem wir negative Emotionen erleben können. Zweitens wirkt Kunst, die uns in Wechselspiele positiver und negativer Gefühle verwickelt, abwechslungsreicher. Die positiv erlebte narrative Spannung ist nicht ohne Gefühle von Unsicherheit oder Angst um die Protagonisten zu haben. Dazu kommt, dass die ästhetische Kraft der Darstellung (zum Beispiel die Schönheit von Musik, Sprache oder Farben) negative Emotionen sowohl intensiver als auch positiver erlebbar macht. Und schließlich lässt sich bei der Suche nach einer Bedeutung sogar in negativen Gefühlen etwas Positives entdecken. (www.mpg.de/11810979)

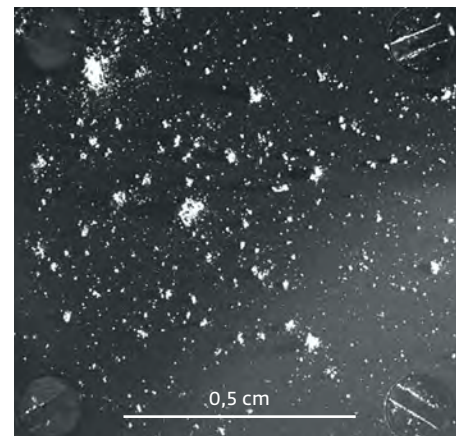
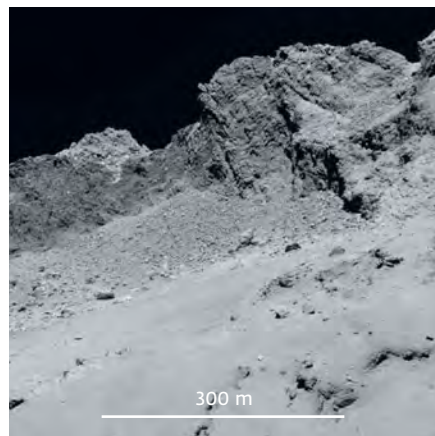
Das Rezept für einen Kometen

Forscher analysieren, welche chemischen Elemente in 67P/Churyumov-Gerasimenko stecken

Der Staub, den der Komet 67P/Churyumov-Gerasimenko ins All spuckt, besteht etwa zur Hälfte aus organischen Molekülen. Zudem gehört das Material zu den ursprünglichsten und kohlenstoffreichsten Stoffen, die Astronomen im Sonnensystem kennen. Zu diesen Ergebnissen kommt ein Team, das mit einem Instrument der Raumsonde *Rosetta* den Kometen untersucht hat. In ihrer Studie analysieren die Wissenschaftler, unter anderem aus dem Max-Planck-Institut für Sonnensystemforschung, so umfassend wie nie zuvor, aus welchen chemischen Elementen sich Kometenstaub zusammensetzt. Dazu sammelten und analysierten sie über einen Zeitraum von etwa zwei Jahren mehr als 35 000 Staubkörnchen unterschiedlicher Größe – von 0,01 bis 1 Millimeter Durchmesser. Die Partikel

wurden mit einem hochenergetischen Strahl aus Indiumionen beschossen und die auf diese Weise ausgelösten Sekundärteilchen im Massenspektrometer gewogen und untersucht. Das Er-

gebnis: Organische Moleküle machen ungefähr 45 Prozent des Gewichts des festen Materials aus; den anderen Teil liefern mineralische Stoffe, hauptsächlich Silikate. (www.mpg.de/11810337)



Blick auf eine fremde Welt: Wenn der Komet 67P/Churyumov-Gerasimenko sich der Sonne nähert, verdampfen gefrorene Gase unterhalb der Oberfläche und reißen winzige Staubpartikel mit sich (links). Diese können mithilfe des COSIMA-Instruments an Bord der Raumsonde *Rosetta* eingefangen und untersucht werden. Als Staubsammler dienen solche wenige Zentimeter großen Plättchen. An ihnen bleiben Teilchen mit einer Größe von bis zu 100 Mikrometern haften (rechts).

Bakterien statt Labortiere

Eine neue Methode könnte den Bedarf an Versuchstieren zur Herstellung von Antikörpern verringern

Die Antikörper des Immunsystems schützen uns Menschen und andere Wirbeltiere normalerweise vor Krankheitserregern. Sie sind aber auch unverzichtbare Werkzeuge für die Forschung, zum Beispiel für die Mikroskopie. Gewonnen werden sie aus dem Blut von Eseln, Ziegen oder Kaninchen. Den Tieren wird dabei eine winzige Menge einer Substanz injiziert, die Forscher untersuchen wollen. Die Tiere bilden gegen den Stoff dann Antikörper. Weltweit nutzen Tausende Forschungslabors diese Abwehrstoffe, entsprechend hoch ist der Bedarf an Tieren. Forscher am Max-Planck-Institut für biophysikalische Chemie in Göttingen haben jetzt eine Alternative entwickelt, mit der sich die Zahl benötigter Tiere für die Antikörperherstellung künftig drastisch reduzieren lässt: sogenannte Nanobodies. Dies sind Fragmente besonders einfach aufgebauter Mini-Antikörper aus dem Blut von Kamelen und ihren Verwandten, den Alpakas. Die Göttinger Wissenschaftler können diese Nanobodies mithilfe von Bakterien in beliebiger Menge herstellen. Mit herkömmlichen Antikörpern ist dies wegen deren komplexer Struktur nicht möglich. (www.mpg.de/11867753)



Die aus den Anden stammenden Alpakas haben besondere Abwehrstoffe im Blut: Ihre Antikörper sind viel kleiner und einfacher aufgebaut als die der meisten anderen Säugetiere. Sie können deshalb mithilfe von Bakterien in großer Menge produziert werden.

Rache ist süß

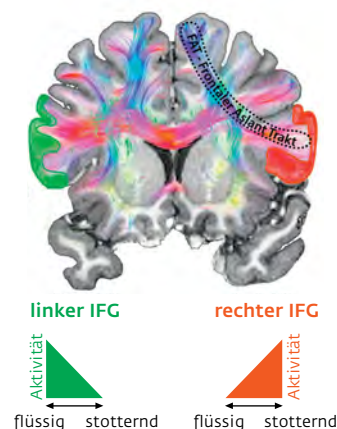
Für das Zusammenleben in einer Gemeinschaft ist es unerlässlich, dass die Mitglieder miteinander kooperieren. Um die Gruppe zusammenzuhalten, wird unkooperatives Verhalten oft bestraft. Wissenschaftler der Max-Planck-Institute für evolutionäre Anthropologie und für Kognitions- und Neurowissenschaften in Leipzig haben nun herausgefunden, dass bereits sechsjährige Kinder unsoziales Handeln rügen. Um das Verhalten der Kinder zu untersuchen, veranstalteten die Forscher ein Puppentheater: Eine freundliche Puppe gab den Kindern ihr Lieblingsspielzeug, eine bössartige behielt es dagegen für sich, eine weitere übernahm die strafende Rolle. Im Falle der gutgesinnten Figuren wollten die Kinder in der Regel nicht dabei zusehen, wie diese leidet. Wurde dagegen der Bösewicht bestraft, gaben viele Sechsjährige sogar Geld dafür aus, seine Bestrafung miterleben – nicht jedoch die vier- und fünfjährigen Zuschauer. Ein ähnliches Verhalten beobachteten die Wissenschaftler auch bei Schimpansen im Zoo. Ob die Kinder oder die Schimpansen beim Betrachten der Bestrafung so etwas wie Schadenfreude empfinden, wissen die Forscher allerdings noch nicht. (www.mpg.de/11864829)

Stoppsignale im Gehirn

Ein überaktives Netzwerk im rechten Stirnhirn hemmt flüssiges Sprechen

Etwa jeder hundertste Erwachsene in Deutschland stottert. Aus älteren Studien weiß man, dass ein Ungleichgewicht zwischen den Aktivitäten von linker und rechter Hirnhälfte den Sprachfluss hemmt: Eine Region im linken Stirnhirn ist zu schwach aktiviert, die entsprechende Region in der rechten Hirnhälfte dagegen zu stark. Wissenschaftler des Max-Planck-Instituts für Kognitions- und Neurowissenschaften in Leipzig haben nun mittels Magnetresonanztomografie (MRT) herausgefunden, dass eine Überaktivität der rechten unteren Windung des Stirnhirns der eigentliche Grund für das Stottern ist. Bei Menschen mit Sprechproblemen ist diese Region über eine ungewöhnlich stark ausgebildete Faserverbindung mit anderen Hirngebieten verknüpft. Dieser Teil des Stirnhirns

ist bei allen Menschen immer dann besonders aktiv, wenn Sprechbewegungen gestoppt werden. Eine übermäßige Hemmung der für das Sprechen erforderlichen Motorik könnte also die eigentliche Ursache des Stotterns sein. (www.mpg.de/11854025)

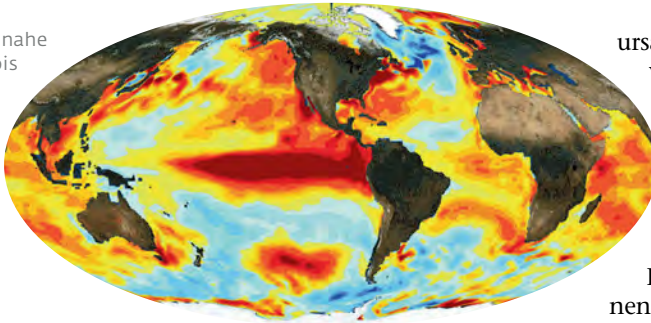


Normalerweise stoppt der rechte Gyrus frontalis inferior (IFG) im Stirnhirn den Redefluss, der linke unterstützt ihn. Beim Stottern sind beide Areale aus dem Gleichgewicht geraten: Der rechte IFG ist überaktiv, weil Faserverbindungen wie der Frontale Aslant-Trakt stärker ausgebildet sind. Das hemmt den linken IFG und damit das flüssige Sprechen.

El Niño verstärkt den Treibhauseffekt

Durch das Klimaphänomen erhöht sich der Kohlendioxidgehalt der Atmosphäre

El Niño bringt im Pazifik nahe dem Äquator alle zwei bis sieben Jahre Wassertemperaturen und Meeresströmungen durcheinander. Zuletzt hat das Klimaphänomen im Dezember 2015 die Wassertemperaturen im östlichen und zentralen Pazifik deutlich erhöht (rot).



Das Klimaphänomen El Niño heizt den Treibhauseffekt stärker an als bislang angenommen. Wie ein internationales Team, an dem auch Forscher der Max-Planck-Institute für Chemie in Mainz und für Biogeochemie in Jena beteiligt waren, herausgefunden hat, stieg der Gehalt an Kohlendioxid in der Atmosphäre durch El Niño 2015/16 um 8,8 Milliarden Tonnen. Das entspricht etwa einem Viertel der weltweiten Kohlendioxidemissionen, die jährlich durch menschliche Aktivitäten ver-

ursacht werden. Bislang gingen Geoforscher davon aus, dass das Klimaereignis 1,2 Milliarden Tonnen Kohlendioxid freisetzt, weil es in diesen Jahren dürrebedingt zu mehr Torf-, Busch- und Waldbränden kommt. Die deutlich größere Menge, die nun aus Satellitendaten ermittelt wurde, ist offenbar vor allem darauf zurückzuführen, dass Pflanzen in von El Niño beeinflussten Regionen deutlich weniger Kohlendioxid aufnehmen.

Allerdings gehen die Forscher davon aus, dass dieser Zuwachs an Treibhausgasen durch eine verringerte Biomasseproduktion – anders als die menschengemachten Emissionen und die Kohlendioxid-Zunahme durch Feuer – nach El-Niño-Jahren rückgängig gemacht wird, weil Pflanzen verstärkt Kohlendioxid aufnehmen. Menschliche Aktivitäten dürften das Problem jedoch verschärfen. So geraten vor allem Torffeuere, die absichtlich gelegt werden, in durch El Niño ausgetrockneten Regionen leichter außer Kontrolle.

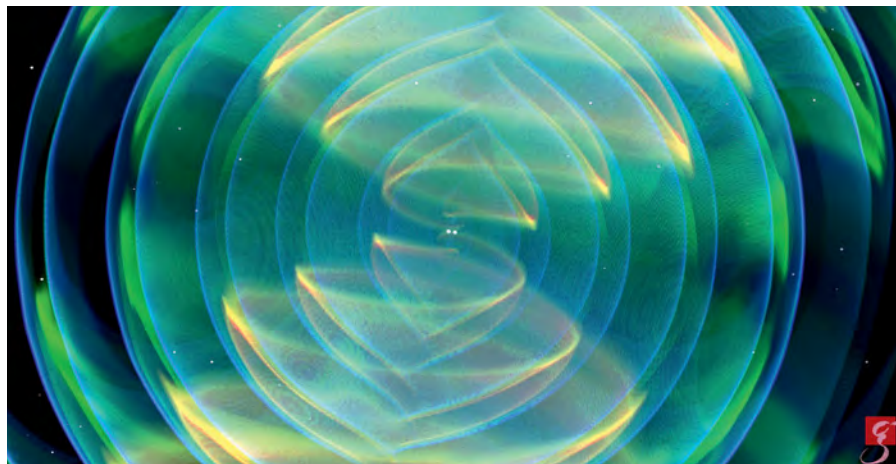
Gravitationswellen von Neutronensternen

Das kosmische Ereignis wurde außerdem im sichtbaren Licht beobachtet und liefert eine Erklärung für die Gammablitz

Zum ersten Mal haben Forscher die Gravitationswellen von zwei verschmelzenden Neutronensternen gemessen und gleichzeitig das Licht in mehreren Bereichen des elektromagnetischen Spektrums registriert. Diese Entdeckung am

17. August 2017 bestätigt, dass die Kollision von Neutronensternen zu einem kurzen Gammastrahlenausbruch führt – was Theoretiker schon lange vermutet hatten. Zudem ist die folgende Explosion, eine sogenannte Kilonova, der Ur-

sprung schwerer Elemente wie Gold, Platin oder Blei. Die beiden LIGO-Detektoren in Hanford (US-Bundesstaat Washington) und Livingston (Louisiana) beobachteten das GW170817 genannte Signal für rund 100 Sekunden, die gleichzeitigen Messungen des Virgo-Detektors in der Toskana verbesserten die Lokalisierung am Firmament erheblich. Die Satelliten *Fermi* und *Integral* meldeten unterdessen einen Gammastrahlenblitz aus ungefähr derselben Richtung, aus der das Gravitationswellensignal kam. Optische Teleskope schließlich entdeckten einen Lichtpunkt, der sich in der rund 130 Millionen Lichtjahre entfernten, linsenförmigen Galaxie NGC 4993 befindet – offenbar der Ursprungsort der kosmischen Kollision. (www.mpg.de/11555828)



Tanz der Schwergewichte: Zwei Neutronensterne umkreisen einander auf immer engeren Bahnen. Dabei werden Gravitationswellen ausgesendet.

Licht macht Algen klebrig

Die Härchen von Chlamydomonas-Einzellern haften nur im Hellen



Das Licht der Sonne ermöglicht Grünalgen mehr als nur die Photosynthese, mit der sie Zucker aufbauen. Wie Physiker am Göttinger Max-Planck-Institut für Dynamik und Selbstorganisation jetzt erstmals beobachtet haben, macht blaues Licht auch die Flagellen der Einzeller klebrig. Mit diesen feinen Härchen schwimmen die Mikroorganismen im Dunkeln durch ihren wässrigen Lebensraum. Die lichtgesteuerte Haftung ermöglicht es ihnen aber, sich an Oberflächen festzuhalten, an denen sich die Lichtverhältnisse für ihre Nährstoffproduktion eignen. Die Erkenntnisse könnten helfen, den Lichtschalter in Algen für die Produktion von Biokraftstoffen gentechnisch lahmzulegen. So ließe sich verhindern, dass sich die Mikroorganismen am Glas entsprechender Reaktoren absetzen und deren Produktivität senken. (www.mpg.de/11489005)

In blauem Licht ordnen sich die Proteine in den Flagellen von Grünalgen um, sodass klebrige Eiweißmoleküle nach außen gelangen und die Härchen an Oberflächen haften.

Flug in den Süden lohnt sich

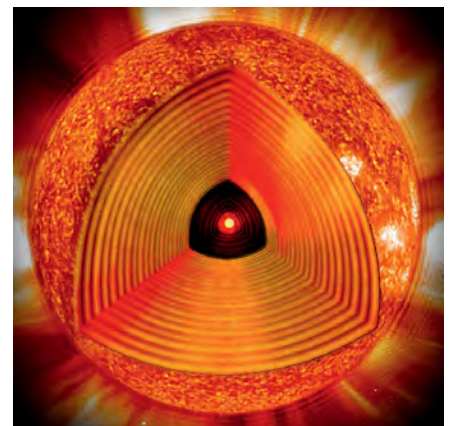
Etwa die Hälfte der bei uns lebenden Singvögel bricht im Herbst in Richtung Süden auf – dort ist es wärmer, und es gibt ausreichend Nahrung. Der Flug ist jedoch entbehrungsreich und gefährlich. Lohnt sich der Aufwand für Zugvögel also überhaupt? An Amseln lässt sich diese Frage gut studieren, denn nur ein Teil der Vögel in Mitteleuropa fliegt im Herbst in den Süden, die übrigen trotz der Kälte vor Ort. Forscher des Max-Planck-Instituts für Ornithologie in Radolfzell haben deshalb mehrere Jahre lang fast 500 Amseln am Bodensee beringt oder mit kleinen Peilsendern ausgestattet und im Frühling nach beringten Rückkehrern aus dem Süden gesucht. Automatische Registrierungsanlagen im Untersuchungsgebiet zeigten an, ob ein Vogel mit Peilsender noch am Leben war. Resultat: Der Winter ist die kritischste Phase im Leben einer Amsel. In dieser Zeit sterben die meisten von ihnen – ob sie in den Süden ziehen oder hierbleiben. Die Zugvögel überleben die kalte Jahreszeit aber deutlich häufiger als die Tiere, die in Mitteleuropa bleiben. (www.mpg.de/11776729)

Tiefer Blick ins Innere der Sonnen

Forscher ermitteln aus den Schwingungen ferner Sterne deren Struktur

Eigentlich scheint es unmöglich, in einen Stern hineinzuschauen. Dem Team von Earl Bellinger und Saskia Hekker vom Max-Planck-Institut für Sonnensystemforschung ist dies jetzt erstmals gelungen. Dazu nutzten die Forscher die Methode der Asteroseismologie, das heißt, sie beobachteten anhand von Helligkeitsschwankungen die Schwingungen der Sterne, die sich wie Schallwellen in deren Innern ausbreiten. Indem sie die Schwingungsfrequenzen analysierten, bestimmten die Wissenschaftler die Struktur der 70 Lichtjahre von der Erde entfernten Doppelsterne 16 Cygni A und B. Bellinger und Hekker passten verschiedene Sternentwick-

lungsmodelle so lange an, bis eines am besten dem gemessenen Frequenzspektrum entsprach. Schließlich zeigte das sogenannte inverse Verfahren, dass die Schallgeschwindigkeit in den Zentralbereichen der beiden Sterne größer ist, als von den Modellen vorhergesagt. Bei 16 Cygni B lassen sich die Unterschiede durch eine Korrektur der Masse und Größe des Sterns ausgleichen. Für 16 Cygni A war es allerdings nicht möglich, ein Modell zu finden, welches die Beobachtungen erklärt: In den derzeitigen Theorien zur Sternentwicklung scheinen manche physikalischen Phänomene noch nicht berücksichtigt zu sein. (www.mpg.de/11869082)



Bis zum Kern: Künstlerische Darstellung des Sterninnern, das sich durch Oszillationen an der Oberfläche erforschen lässt.

An die Leine!

Max-Planck-Forscher entdecken die bisher ältesten Abbildungen angeleinter Hunde

Der Hund gilt als der älteste Begleiter des Menschen. Welche Rolle die Tiere in der Frühzeit der Menschheit spielten, liegt jedoch völlig im Dunklen. Bei Forschungsarbeiten in Saudi-Arabien sind Wissenschaftler von den Max-Planck-Instituten für Menschheitsgeschichte und für evolutionäre Anthropologie auf Abbildungen gestoßen, die erstmals einen Einblick in das Leben mit Hunden zur damaligen Zeit geben. Die Felsgravuren sind schätzungsweise 8000 bis 9000 Jahre alt. Zu sehen sind Jagdszenen: Männer, die mit Pfeil und Bogen auf Gazellen und Antilopen schießen, Löwen und Leoparden, die von Hunden in Schach gehalten werden, und Hunde, die kleineres Wild mit Bissen erlegen. Auffällig ist, dass einzelne Hunde angeleint sind. Darstellungen von Leinen kannte man bisher erst aus altägyptischen Bildern, die deutlich jünger sind. Möglicherweise wollten die Menschen sicherstellen, dass wertvolle Hunde, die besonders gut Witterung aufnehmen konnten, nicht verletzt werden. Oder sie wollten Hunde in ihrer Nähe behalten, um sich selbst zu schützen. Vielleicht nahmen sie auch junge Hunde an die Leine, die sie erst abrichten wollten. (www.mpg.de/11797828)



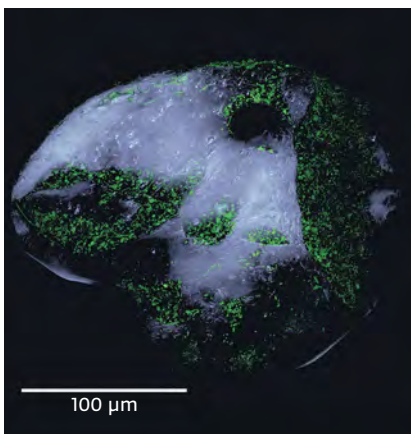
Große Jagdszene: Deutlich sind die Leinen zu erkennen, die zwei der Hunde mit dem Jäger auf der rechten Seite verbinden. Um die Bilder deutlicher zu machen, wurden die gravierten Stellen weiß hervorgehoben.

Sand ist ein Paradies für Bakterien

Auf einem einzigen Körnchen leben bis zu 100 000 Mikroorganismen

Wer am Strand eine Sandburg errichtet, der verbaut auch Milliarden von Bakterien: Laut einer Untersuchung von Forschern des Bremer Max-Planck-Instituts für marine

Mikrobiologie leben auf jedem einzelnen Körnchen zwischen 10 000 und 100 000 Mikroorganismen. Sie tummeln sich fast ausschließlich in geschützten Rissen und Kuhlen der Körner und meiden exponierte Flächen. Mit mehreren Tausend Arten ist auch die Vielfalt der Bakterien beeindruckend. Zusammen wirken der Sand und seine Bewohner wie ein reinigender Filter, der im Meerwasser gelöste Substanzen abbaut. Wichtig für diese Filterfunktion ist die Verteilung der Bakterienarten: Mehr als die Hälfte kommt auf allen Körnern vor. Jedes Korn hat folglich die gleiche Stammbesetzung. Dank der Artenvielfalt reinigt Sand das Meerwasser selbst unter unterschiedlichen Umweltbedingungen. (www.mpg.de/11827652)



Ein Sandkorn unter dem Fluoreszenzmikroskop: Die grünen Pünktchen sind gefärbte Bakterien, die sich vor allem in Vertiefungen auf der Oberfläche angesiedelt haben.

Weniger Dünger reduziert den Feinstaub

Für Feinstaub gibt es viele Quellen – nicht nur den Verkehr, der dafür immer wieder ganz besonders viel Aufmerksamkeit erfährt. Die Menge an gesundheitsschädlichem Feinstaub könnte auch erheblich sinken, wenn durch reduzierte Düngung und Viehzucht weniger Ammoniak freigesetzt würde. Das zeigen Berechnungen von Forschern des Max-Planck-Instituts für Chemie in Mainz. So nähme die Belastung mit besonders gesundheitsschädlichen Partikeln unter 2,5 Mikrometern Durchmesser in Europa um 11 Prozent, in den USA um 19 Prozent und in China sogar um 34 Prozent ab, wenn der Ammoniakausstoß weltweit um 50 Prozent reduziert würde. Da sich Ammoniak und der daraus entstehende Feinstaub großräumig ausbreiten, würde sich das auch in besonders belasteten Städten auswirken – mit großem Effekt für die Gesundheit: Den Rechnungen der Mainzer Forscher zufolge ließe sich durch eine 50-prozentige Verringerung der landwirtschaftlichen Ammoniakemissionen pro Jahr weltweit 250 000 – das entspricht 8 Prozent – der Todesfälle vermeiden, die auf Luftverschmutzung zurückzuführen sind. (www.mpg.de/11663357)

Mehr soziale Kompetenz, weniger Stress

Auch Erwachsene können Fähigkeiten wie Empathie trainieren – und selbst davon profitieren

Das menschliche Gehirn kann sich ein Leben lang verändern und an Neues anpassen. Bisher war unklar, inwieweit das auch für Gehirnnareale gilt, die unser Sozialverhalten steuern. Um dieser Frage nachzugehen, entwickelte ein Forscherteam um Tania Singer, Direktorin am Max-Planck-Institut für Kognitions- und Neurowissenschaften, spezielle Meditationstechniken, die soziale Fähigkeiten trainieren. Eine Methode stellte sozio-affektive Fähigkeiten wie Mitgefühl, Dankbarkeit und den Umgang mit schwierigen Gefühlen in den Mittelpunkt. Dabei übten jeweils zwei Personen aus einer größeren Gruppe, sich über Gefühle auszutauschen. Eine zweite Technik zielte durch Partnerübungen und klassische Meditation auf den sozio-kognitiven Bereich, insbesondere die Fähigkeit, die Perspektive anderer zu übernehmen. Zum Vergleich gab es ein drittes Modul mit konventionellem Achtsamkeitstraining. Tatsächlich stellten die Wissenschaftler bei allen Versuchspersonen fest, dass die jeweils trainierten Hirnregionen größer werden und sich die spezifischen sozialen Fähig-

keiten oder die Aufmerksamkeit verbessern. Darüber hinaus stärkten die beiden sozial ausgerichteten Methoden messbar die Stressresistenz der Teilneh-

mer. Das Achtsamkeitstraining, das bei Burn-out-Patienten häufig zum Einsatz kommt, verfehlte dagegen diese Wirkung. (www.mpg.de/11496811)



Stressfrei: Ein Ziel von Meditation ist, die Widrigkeiten des Lebens zu vergessen. Sozialer Stress lässt sich am besten mithilfe spezieller Meditationsübungen zu zweit abbauen.

Fasern, aus Schleim gesponnen

Nanopartikel aus dem Sekret von Stummelfüßern bilden unter der Wirkung von Scherkräften steife Polymerfäden, die in Wasser recycelt werden können



Die Natur ist für Materialwissenschaftler immer wieder ein guter Lehrmeister. So könnten Chemiker nach dem Vorbild von Stummelfüßern wiederverwertbare Polymere entwickeln. Die wurmartigen Kleintiere schießen mit einem klebrigen Sekret auf Beutetiere und Fressfeinde. Sobald sich das Opfer bewegt und zu entkommen versucht, versteift sich das Sekret zu festen Fäden. Wie Wissenschaftler unter anderem des

Raffinierte Jagdwaffe: Stummelfüßer, die wie Würmer mit kurzen Beinchen aussehen, fangen ihre Beute mit einem Sekret. Dieses bildet Polymerfasern, sobald sich das Opfer bewegt.

Max-Planck-Instituts für Kolloid- und Grenzflächenforschung nun festgestellt haben, enthält der Schleim Kügelchen von jeweils 75 Nanometer Durchmesser aus zusammengeknüllten Proteinfäden und Fettmolekülen. Unter Krafteinwirkung entwirren sich die Proteine und bilden lang gezogene Fasern, um die sich die Fettmoleküle legen. Diese Form behalten die Biomoleküle, wenn sie trocknen. Im Wasser lösen sich die Fasern aber wieder auf und formen die gleichen Nanopartikel, welche im ursprünglichen Sekret enthalten sind. (www.mpg.de/11644911)

Kristalle unter Kontrolle

Materialeigenschaften mit Licht wie mit einem Zauberstab schalten: Das ist das Ziel von **Andrea Cavalleri**. Der Direktor am **Max-Planck-Institut für Struktur und Dynamik der Materie** in Hamburg verändert mit Lasern das Verhalten von Kristallen und erzeugt so etwa für kurze Zeit Supraleiter, die Strom bei Zimmertemperatur verlustfrei leiten.

TEXT **ROLAND WENGENMAYR**

Ich benutze Licht, um Wasser zu gefrieren“, so gibt Andrea Cavalleri seiner sechsjährigen Tochter eine, wenn auch nicht ganz wörtlich zu nehmende, Vorstellung, worum es in seiner Forschung geht. Das Mädchen kennt die Prinzessin Elsa aus dem Animationsfilm „Die Eiskönigin“, die mit Zauberkraft Wasser in Eis verwandeln kann. So bekommt es eine Vorstellung davon, was Papa als Wissenschaftler macht, wenn er Materie mit Licht manipuliert.

Ohnehin kann man sich vorstellen, wie der Direktor am Max-Planck-Institut für Struktur und Dynamik der Materie in Hamburg, umringt von Kindern, seine Arbeit schildert, so lebendig spricht er davon. Etwas ältere Zuhörer dürften eher an Harry Potter denken, der durch einen Wink mit dem Zauberstab Dinge verwandeln kann. Wie in Potters Zauberwelt behalten auch die von den Hamburger Physikern manipulierten Materialien die neue Eigenschaft nur für eine gewisse Zeit – die ist allerdings noch extrem kurz.

Cavalleris Zauberstab ist speziell präpariertes Laserlicht. Es kann Atome für

kurze Zeit so verschieben, dass sich die physikalischen Eigenschaften eines Materials für einen Moment vollkommen verändern. Wasser steht allerdings bisher nicht auf der Liste der Forschungsobjekte, es geht um andere Stoffe. Im Jahr 2014 gelang Cavalleris Team in einer Kooperation mit weiteren Gruppen ein großer Erfolg: Für wenige Pikosekunden konnten die Forscher Supraleitung, also Stromtransport ohne Widerstand, bei Zimmertemperatur erzeugen. Eine Pikosekunde ist der billionste Teil einer Sekunde; der exotische Zustand dauerte also nur ultrakurz.

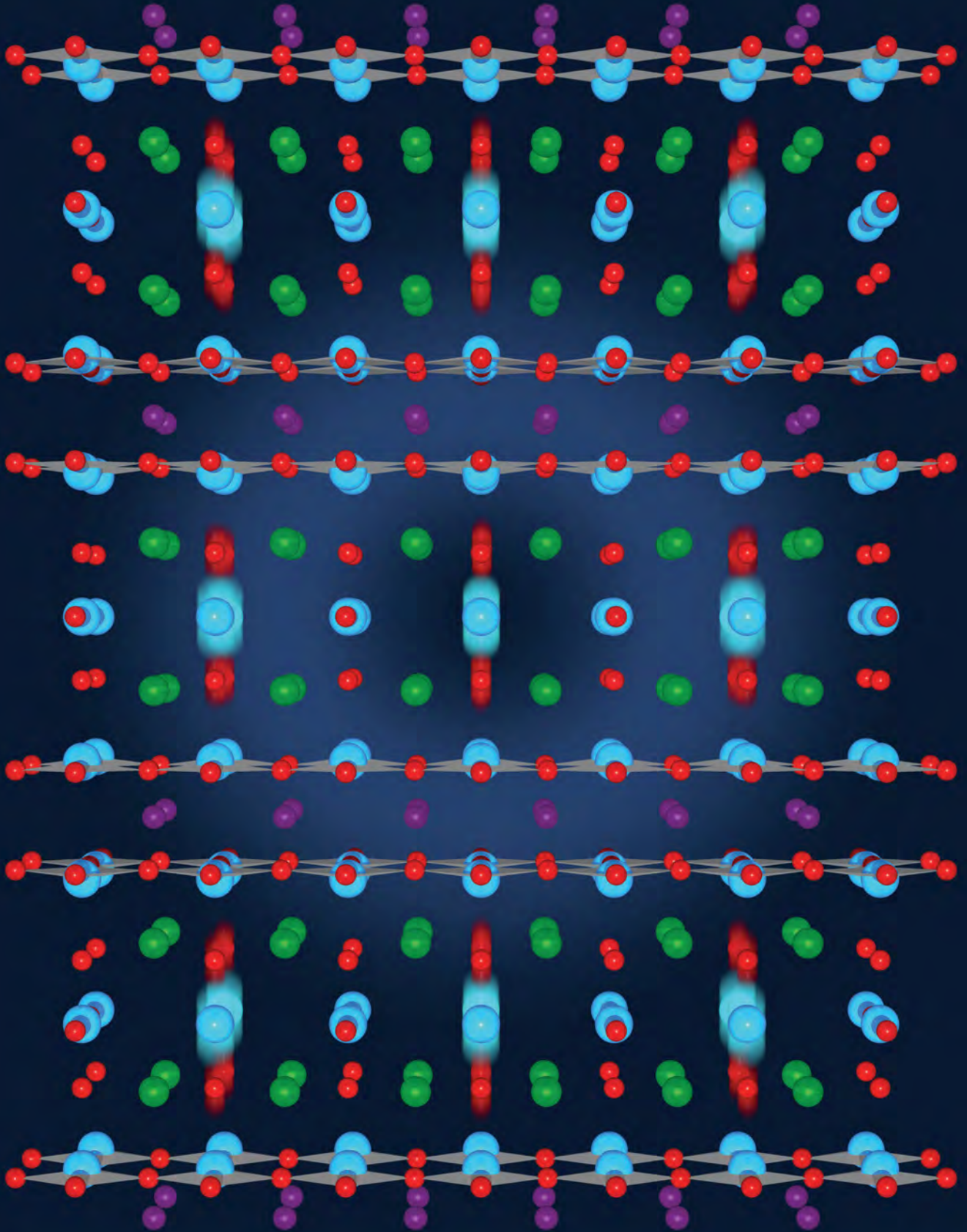
DAS ZIEL: SUPRALEITUNG BEI ZIMMERTEMPÉRATUR

Trotzdem sorgte diese Entdeckung für Wirbel. Denn Supraleitung bei Zimmertemperatur ist ein großes Ziel der Materialforschung. Supraleiter, die weit unter null Grad Celsius ihren elektrischen Widerstand verlieren, werden heute schon zu Spulen gewickelt, die sehr starke Magnetfelder erzeugen, zum Beispiel in Magnetresonanztomografen für die Medizin. Mit widerstandslosen elek-

trischen Leitungen, die keine Kühlung brauchen, ließe sich Strom in Zukunft vielleicht ohne Verluste beispielsweise von großen Windparks auf See in weit entfernte Gegenden des Festlands transportieren. Die Entdeckungen und Erkenntnisse der Physiker um Andrea Cavalleri können vielleicht die Grundlagen für solche praktischen Anwendungen schaffen.

Bevor wir uns den Projekten der Hamburger Forscher zuwenden, tauchen wir in Cavalleris kleinem Besprechungszimmer jedoch in die Geschichte des jungen Instituts ein. Offiziell wurde es zum 1. Januar 2014 gegründet, seit Anfang 2008 hat Cavalleri es als junger, international bereits angesehener Physiker aufgebaut. Zuvor hatte der Italiener in den USA geforscht. 2004 wechselte er nach England an die Universität von Oxford, wo er 2006 einen unbefristeten Lehrstuhl als Professor erhielt. „Ich war glücklich und dachte, ich werde Oxford nicht mehr verlassen“, erzählt er. Aber dann war das Angebot der Max-Planck-Gesellschaft, in Hamburg ein brandneues Institut zu gründen, doch zu verlockend. „Ich war

Lichtschalter für einen Supraleiter: In einem Kuprat aus Yttrium (violett), Barium (grün), Kupfer (blau) und Sauerstoff (rot) transportieren Cooperpaare Strom in den dicht beieinanderliegenden Doppelschichten sogar bei relativ hohen Temperaturen ohne Verluste. Wenn ein Laser die Kupferatome zwischen den Doppelschichten zum Schwingen bringt, rücken diese näher zusammen – die Cooperpaare fließen dann auch senkrecht dazu.





Rennstrecke für Elektronen: Im Freie-Elektronen-Laser XFEL flitzen die Teilchen durch eine 3,4 Kilometer lange Anlage zwischen dem Forschungszentrum DESY in Hamburg-Bahrenfeld und Schenefeld (oben) und erzeugen dabei Röntgenblitze. Mitarbeiter bewegen sich mit dem Fahrrad durch den Tunnel des Röntgenlasers (unten).

der erste Angestellte“, erzählt Cavalleri: „Mein Telefon habe ich damals eigenhändig angeschlossen.“

Seitdem ist das Max-Planck-Institut für Struktur und Dynamik der Materie schnell gewachsen und zwischenzeitlich in Räume des CFEL, des Centre for Free-Electron Laser Science, umgezogen. Der markante, dreistöckige Flachzylinder steht auf dem Betriebsgelände des Deutschen Elektronen-Synchrotrons DESY, ein Forschungszentrum, das ursprünglich rein der Teilchenphysik gewidmet war.

Doch die Beschleunigertechnologie hat auch brillante Lichtquellen für die Materialforschung hervorgebracht, und gleich nebenan ging im September 2017 eine ganz besondere in Betrieb:

Der European XFEL ist der stärkste Röntgenlaser der Welt und wird in Zukunft auch für Andrea Cavalleri große Bedeutung haben. Röntgenlicht ist notwendig, weil seine extrem kurzen Wellen zu den Abständen der Atome in Materialien passen. Nur damit kann man deren Struktur bis auf Atome genau ablichten.

In diesem Umfeld ist das neue Max-Planck-Institut perfekt angesiedelt. Derzeit forschen in drei Abteilungen 110 Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler, Cavalleris Team umfasst rund 30 Leute. Während wir miteinander sprechen, dringt gedämpfter Baulärm ins Zimmer. In der Nachbarschaft entsteht gerade der Neubau des Instituts, im Sommer 2019 soll er fertig sein.

„Ich musste mich mit einer Menge neuer Fragen auseinandersetzen, zum Beispiel, was ein Max-Planck-Institut genau ist“, erzählt Cavalleri über die Gründungszeit. „Die Max-Planck-Gesellschaft ist eine sehr gute, flexible Organisation“, lobt er, setzt aber auch hinzu: „Hier bist du nur durch deine Fähigkeiten limitiert, es ist dein eigener Fehler, wenn du versagst.“

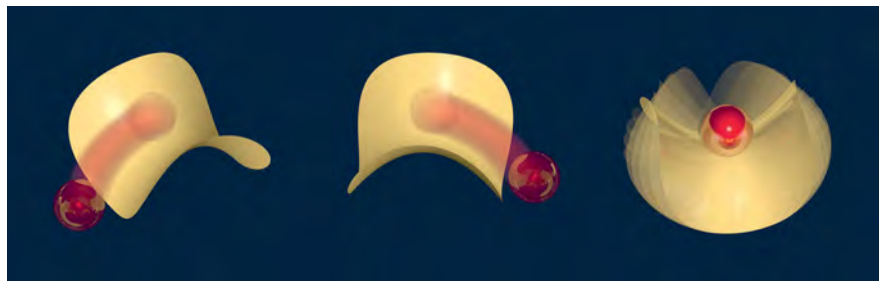
DAS KRISTALLGITTER ALS RENNBahn FÜR ELEKTRONEN

Nun kommt unser Gespräch auf Cavalleris Lieblingsthema, seine Forschung. Als Laie muss man dazu wissen, dass ein Großteil der Materie um uns herum aus Kristallen besteht. Mit Kristal-

len verbinden wir Salz oder kostbare Brillanten. Doch vielen Materialien sieht man gar nicht an, dass sie aus winzigen Kristallen bestehen, Metallen zum Beispiel. In der Welt der Atome zeichnen sich Kristalle durch eine regelmäßige räumliche Ordnung aus. Kochsalz etwa besteht aus einem Gitter vieler winziger Würfel, an deren acht Ecken wechselweise Natrium- und Chloratome sitzen.

Für die Quantensteckverbindungen zwischen den Atomen in den Kristallen sorgen immer Elektronen. Bei einem elektrisch leitfähigen Metall kommt hinzu, dass das Kristallgitter der Atome zu einer dreidimensionalen Rennbahn für bestimmte Elektronen wird. Diese können nahezu frei durch den Kristall flitzen und dabei elektrischen Strom sowie Wärmeenergie transportieren. Einzelne Elektronen in Kristallen anderer Materialien können auch wie winzige drehbare Magneten wirken, in der Regel sind sie dann an bestimmte Atome im Gitter gebunden. Drehen sich diese Spins kollektiv in eine Richtung, wird der Kristall zum Magneten. Es gibt auch sehr komplex aufgebaute Kristalle. Dazu zählen die sogenannten Kuprate. Diese Kupferoxide wurden als Hochtemperatursupraleiter bekannt und zählen zu Cavalleris Forschungsobjekten.

Der Wissenschaftler beschäftigt sich mit den physikalischen Eigenschaften von Kristallen und wie sich diese mit Licht manipulieren lassen. Der Knackpunkt dabei ist: In jedem Kristallgitter bestimmt die exakte Anordnung der Atome ganz direkt die Eigenschaften des Materials. „Stellen Sie sich die Atome im Kristallgitter als Kugeln vor, die über Spiralfedern verbunden sind“, er-



Balanceakt mit Atomen: Wie die Hamburger Max-Planck-Forscher etwa einen supraleitenden Nichtgleichgewichtszustand von Kristallen stabilisieren wollen, lässt sich mit dem Versuch vergleichen, eine Kugel auf einem Sattel zu halten. Im Normalfall würde sie davon herunterrollen. Dreht sich der Sattel aber sehr schnell, erscheint er der Kugel wie eine Schüssel, in der sie liegen bleibt.

klärt Andrea Cavalleri: „Sie können nun an einer Stelle die Kugeln auseinanderziehen, aber sobald Sie loslassen, federn diese wieder in ihre Ausgangslage zurück.“

ATOME AUSSERHALB DER GLEICHGEWICHTSLAGE

In dieser Gleichgewichtslage der Kugeln heben sich alle Federkräfte auf. Auch in einem echten Kristall streben die Atome in solche Gleichgewichtspositionen – so, wie Murmeln in eine Mulde hineinrollen. Das Gleichgewicht bestimmt also die dauerhaften physikalischen Eigenschaften der Kristalle.

Cavalleris Team arbeitet an Techniken, die ausgewählte Atome in Kristallen künstlich aus der bequemen Gleichgewichtslage herauschieben können. „Wir wollen selektiv an den Federn zwischen den Kugeln ziehen“, sagt Cavalleri, „also die Bindungen zwischen den Atomen deformieren und dann sehen, was dabei passiert.“ Es geht darum, die Atome zumindest kurzzeitig in Positionen im Kristall zu manövrieren, in de-

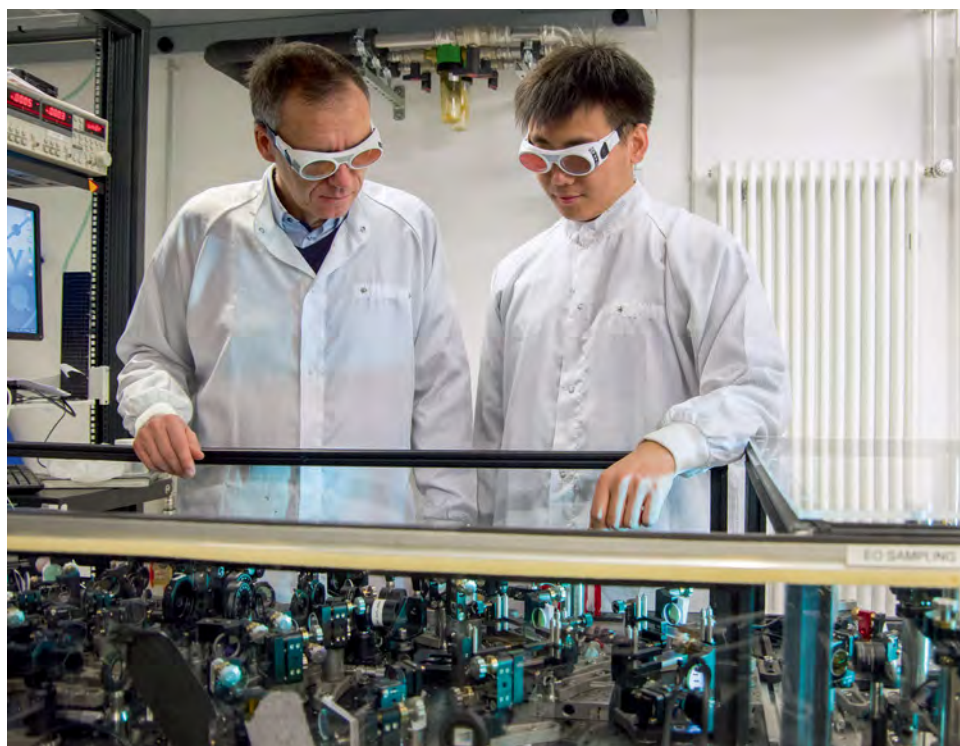
nen sie von sich aus nicht bleiben würden. Das gleicht einem Balanceakt. Cavalleri illustriert das am Computer mit einer Animation von einer Kugel auf einem Sattel. Ruht der Sattel, dann rollt die Kugel sofort seitlich herunter – rotiert er aber schnell genug, dann formt er eine virtuelle Mulde, in der die Kugel gefangen bleibt.

Genau dies soll eines Tages speziell präpariertes Laserlicht bewirken: Wie der rotierende Sattel soll es die Atome in einem Kristall auf einer Nichtgleichgewichtsposition gefangen halten und auf diese Weise deren Eigenschaften dauerhaft verändern. Das ist Cavalleris Traum, denn dann ließen sich Materialeigenschaften umschalten, solange sie beleuchtet sind.

Der Trick besteht darin, dass geeignetes Laserlicht in Kristallgittern Schwingungen anstößt, die in der Physik Phononen heißen. Die Methode lässt sich veranschaulichen, wenn man überlegt, was geschieht, wenn Kinder auf Matratzen herumhüpfen. Die Metallfedern in der Matratze entsprechen in diesem Bild dem Kristallgitter. Das

Diese Seite Wenn Michael Först und der Doktorand Biaolong Liu in Kristallen Eigenschaften mit Licht induzieren, arbeiten sie an einem Tisch, auf dem ein Gewirr optischer Instrumente installiert ist. Zunächst regen sie mit einem Laserpuls die Schwingung an, die das Materialverhalten verändert. Mit einem zweiten Puls fragen sie ab, in welchem Zustand sich der Kristall danach befindet.

Rechte Seite Mit einem Anrege-Abfrage-Experiment haben die Hamburger Forscher einen Kristall aus fußballähnlichen Fulleren-Molekülen supraleitend gemacht.



Hüpfen könnte zum Beispiel die Eigenschaft erzeugen, dass die Federn immer in einem ganz bestimmten Moment des Ein- und Ausfederns quietschen. Dieses Quietschen verrät dann den gesuchten Nichtgleichgewichtszustand.

In diesem Bild gesprochen, wollen die Forscher wissen, wie gerade in diesem Zustand die Federn der Matratze deformiert sind. Diese Information kann eine Blitzaufnahme liefern, die im richtigen Moment die Matratze so durchleuchtet, dass sie ein scharfes räumliches Abbild des Quietschzustands ergibt.

Genau das machen die Forscher im Prinzip mit Kristallen. Das Hüpfen heißt wissenschaftlich korrekt „Anregen“, dem Quietschen entspricht das „Abfragen“. Beides besorgen starke Laseranlagen, die Andrea Cavalleri und seine Mitarbeiter in den Institutslabors entwickeln. Dort nehmen sie auch die Abfragemessungen vor, die ihnen wie das Quietschen auf indirekte Weise verraten, ob sie dem gesuchten Zustand auf der Spur sind. Sind sie sich dessen sicher, kommt die aufwendige Blitzaufnahme dran.

Dazu benötigen die Hamburger einen Freie-Elektronen-Laser, der Rönt-

genlicht erzeugt. Bisher mussten sie dazu mit ihren Experimenten bis zu dreimal im Jahr zur Linac Coherent Light Source ins kalifornische Stanford reisen, die bis vor Kurzem stärkste Quelle für Röntgenlicht. Nun steht der noch stärkere European XFEL direkt vor der Haustüre des Instituts. Gewissermaßen als Kamera kann er extrem scharfe Bilder der Atompositionen im richtigen Moment machen.

EIN EXPERIMENT AUS ANREGEN UND ABFRAGEN

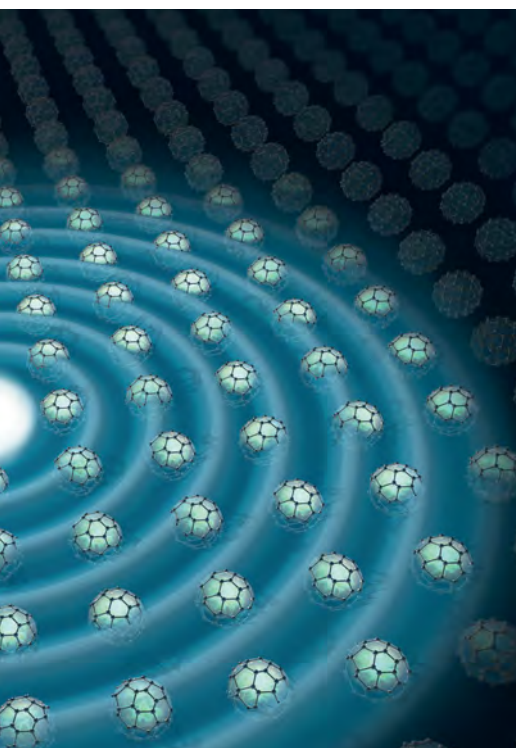
„Wir wollen die Suche nach neuen Materialien und neuen Materialeigenschaften auf den optischen Tisch bringen“, betont Andrea Cavalleri. Allerdings ist es ziemlich anspruchsvoll, Laserpulse (also die Lichtblitze) zu erzeugen, die in einem Kristall die gewünschten Schwingungen (Phononen) anregen können.

Das demonstriert Michael Först, leitender Wissenschaftler, im Erdgeschoss in einem von Cavalleris vier Laboren. Vor dem Betreten müssen wir Reinraumkleidung und Laserschutzbrillen anlegen. „Schmutz auf den Spiegeln

plus intensiver Laserstrahl gleich Spiegel kaputt“, scherzt der Physiker. Viele der Spiegel und Linsen, die sich als ein durchdachtes Labyrinth für Laserlicht über schwere optische Tische verteilen, sind teure Spezialanfertigungen.

Der Aufbau vor uns bedeckt immerhin die Fläche eines mittleren Apartments. In ihm findet ein komplettes Anrege-Abfrage-Experiment statt. Der Laserblitz zum Abfragen des Zustands – die Physiker sprechen vom Abfragepuls – muss auf jeden Fall sehr kurz sein, damit er eine Momentaufnahme der gesuchten Kristallgitterstruktur liefert. Mangels Röntgenlaserlicht kann er hier allerdings die Positionen der Atome nicht abbilden. Überdies muss es sich beim Abfragepuls um eine abgezweigte Kopie des Anregepulses handeln. Denn nur wenn beide Pulse synchronisiert sind, kann der Abfragepuls sinnvolle Informationen über das angeregte Kristallgitter liefern.

Ein Titan-Saphir-Laser versorgt das Experiment mit starken Laserblitzen. Jeder dieser Laserpulse dauert nur wenige Femtosekunden lang, das ist der milliardste Bruchteil einer millionstel Sekunde. Ein teilweise lichtdurchlässi-



ger Spiegel teilt ihn auf. Der stärkere Teilpuls regt dann die Probe an, entspricht also den auf der Matratze hüpfenden Kindern. Der zweite, schwächere Teilpuls wird über eine optische Verzögerungsstrecke zeitversetzt hinterhergeschickt. Er trifft nach dem Anregepuls auf die Probe und erfasst ihren momentanen Zustand. Indem die Forscher die Verzögerungszeit variieren, finden sie den Moment heraus, in dem der Kristall den interessanten Zustand annimmt – die Matratze also quietscht.

Allerdings ist das Experiment vor uns noch komplexer. Wie ein optisches Untersetzungsgetriebe muss es nämlich das Infrarotlicht des Femtosekundenlasers in eine Wellenlänge übersetzen, die bis zu 25-mal länger ist. Diese sogenannte Terahertzstrahlung liegt zwischen Infrarotlicht und Mikrowellen. Sie kann die gewünschten Schwingungen im Kristallgitter anstoßen. Die Atome in Kristallen sind nämlich durch Abgabe oder Aufnahme von Elektronen elektrisch geladen. Damit zieht das schwingende elektrische Feld der Terahertzwellen die Atome mit – wie Bojen, die auf einer durchlaufenden Wasserwelle auf und ab reiten.

Vor Kurzem gelang es Cavalleris Gruppe, mit der Terahertzlaserstrahlung eine Art künstlichen Magnetismus in einem Material namens Erbium-Eisenoxid zu erzeugen. Sehr einfach gesagt, versetzte der Laser das Kristallgitter in einen genau choreografierten Mix verschiedener Schwingungen. Zusammen erzeugten diese Phononen ein Magnetfeld, in dem sich die Eisenatome im Kristall kurzzeitig wie kleine Magneten in eine Richtung drehen. Das Ergebnis war also ein per Laser schaltbarer Magnetismus. Dieser Effekt könnte für zukünftige Materialien und elektronische Bauteile interessant sein.

COOPERPAARE BILDEN EINE QUANTENFLÜSSIGKEIT

Vom Laserlabor in Cavalleris Zimmer zurückgekehrt, sprechen wir über die Entdeckung der Kurzzeit-Supraleitung bei Zimmertemperatur in Kupraten, den bekanntesten Hochtemperatursupraleitern. „Das ist eigentlich Rost von Kupfer“, sagt Cavalleri über diese Kupferoxide. Supraleitung beruht darauf, dass bestimmte Quanteneffekte in Kristallgittern je zwei Elektronen zu einem Cooperpaar verheiraten. Diese Cooperpaare verhalten sich ganz anders als individuelle Elektronen. Sie sammeln sich in einem kollektiven Quantenzustand und bilden eine Art Quantenflüssigkeit, die völlig ohne Widerstand durch das Kristallgitter fließen kann.

Bei den Kupraten und anderen Hochtemperatursupraleitern ist noch nicht ganz geklärt, welcher Mechanismus die Cooperpaare zusammenbindet. Aber er wirkt vergleichsweise gut: Sogar bei Zimmertemperatur existieren die durch ihn verkuppelten Cooperpaare, die in andersartigen Supraleitern

schon durch die geringe Wärmebewegung bei weit unter minus 200 Grad Celsius auseinanderfliegen. Indirekte Hinweise für die relativ temperaturbeständigen Cooperpaare hatte Cavalleri bereits in Experimenten gefunden, bevor er nach Hamburg kam.

Offensichtlich reicht der Zusammenhalt der Cooperpaare aber auch in den Kupraten noch nicht aus, damit sie bei Raumtemperatur supraleitend werden, Strom also widerstandslos transportieren. Das Haupthindernis dafür ist die sandwichartige Schichtstruktur der komplexen Kupratkristalle. In bestimmten Ebenen, die man sich wie die buttrigen Lagen eines Sandwichs vorstellen kann, können die Cooperpaare sich auch bei hohen Temperaturen wie geschmiert bewegen.

Doch senkrecht dazu gibt es Schichten aus Kupferoxid, die bei Zimmertemperatur ein unüberwindliches Hindernis darstellen. Das wäre in einem mehrlagigen Sandwich sozusagen eine zu dicke Brotschicht. Erst wenn man diese Schicht zusammendrückt und die gebutterten Schichten im Gegenzug etwas ausdehnt, kommen diese einander so nahe, dass die Cooperpaare auch senkrecht durch die Schichten flutschen können. Genau dann setzt die dreidimensionale Supraleitung ein. Diesen Zustand hat Cavalleris Team für ultrakurze Zeit in einem Kuprat erzeugt. Am Röntgenlaser in Stanford haben die Forscher zudem die exakten Positionen der Atome in einem solchen supraleitenden Kristall ermittelt.

Inzwischen haben die Max-Planck-Forscher die Hochtemperatursupraleitung an einem völlig anderen Material untersucht. „Das ist eigentlich supraleitendes Plastik“, erklärt Cavalleri halb im Scherz. Dieser Supraleiter be-



Zaubert mit Licht: Andrea Cavalleri erforscht, wie sich Materialeigenschaften mit Laserpulsen schalten lassen. Seine Erkenntnisse könnten etwa in Sensoren oder in optoelektronischen Bauteilen Anwendung finden.

sitzt kein Kristallgitter aus Atomen, sondern ein würfelförmiges Gitter aus molekularen Kugeln. Bei den fußballartigen Molekülen handelt es sich um Buckminster-Fullerene aus jeweils 60 Kohlenstoffatomen.

Der Fulleridkristall wird unterhalb von minus 253 Grad Celsius supraleitend, was schon lange bekannt ist. Cavalleris Team hat in ihm mit Terahertz-laserstrahlung jetzt aber kurzzeitig Supraleitung bei vergleichsweise warmen minus 170 Grad Celsius erzeugt. Die Entdeckung, dass Supraleitung bei relativ hohen Temperaturen in ganz verschiedenen Materialien möglich ist, könnte einen Einblick in universale Eigenschaften dieses Quantenphänomens geben.

Andrea Cavalleris Idee, Eigenschaften von Materialien mit Laserlicht zu schalten, könnte die Erfindung vollkommen neuer Sensoren anregen, etwa für elektromagnetische Strahlung. Sie könnte zudem zur Entwicklung optoelektronischer Bauelemente führen, in denen Elektronen mit Licht gesteuert werden oder umgekehrt, oder zur Entwicklung winziger mechanischer Antriebe für die Nanotechnologie. Denkbar sei es aber auch, Fensterglas mit Licht schlagartig auf undurchsichtig zu schalten, sagt Cavalleri. So könnten sich seine Experimente im Mikrokosmos auch auf unsere Makrowelt auswirken. ◀

AUF DEN PUNKT GEBRACHT

- **Andrea Cavalleri und sein Team am Max-Planck-Institut für Struktur und Dynamik der Materie manipulieren die Eigenschaften von Materialien mit Laserlicht.**
- **Mit speziellen Laserpulsen bringen die Forscher etwa Kristalle eines Kuprat-Hochtemperatursupraleiters kurzzeitig dazu, bei Raumtemperatur verlustfrei Strom zu leiten. Auf dieselbe Weise erzeugen sie auch in Kristallen der kugelförmigen Buckminster-Fullerene bei relativ hohen Temperaturen Supraleitung.**
- **Mit Röntgenlasern wie dem XFEL in Hamburg untersuchen die Wissenschaftler, welche Veränderungen in der Anordnung der Atome zu den Effekten führen.**
- **Die Erkenntnisse könnten neuartige Sensoren etwa für elektromagnetische Strahlung oder optoelektronische Bauteile ermöglichen.**

GLOSSAR

Cooperpaare: In Supraleitern schließen sich jeweils zwei Elektronen zu Cooperpaaren zusammen, sodass der elektrische Widerstand des Materials auf null sinkt. Der Mechanismus, durch den die Elektronen sich paaren, ist nur für konventionelle Supraleiter (siehe unten) geklärt. Demnach treiben die Gitterschwingungen in einem Metall dessen Leitungselektronen bei tiefen Temperaturen gewissermaßen zusammen.

Supraleitung: Bei den Materialien, die Strom verlustfrei leiten, unterscheiden Physiker zwischen konventionellen und unkonventionellen Supraleitern. Bei konventionellen Supraleitern setzt die Supraleitung unter Normaldruck meist erst unter minus 196 Grad Celsius ein, sodass die Materialien mit sehr teurem flüssigem Helium gekühlt werden müssen. Zu den unkonventionellen Supraleitern, bei denen die Bildung von Cooperpaaren nicht durch Gitterschwingungen bewirkt wird, zählen die Hochtemperatursupraleiter. Deren prominenteste Vertreter sind Kupratkeramiken, die neben Kupferoxid weitere Metalle wie Barium und Yttrium enthalten. Bei ihnen tritt Supraleitung bereits über minus 196 Grad Celsius ein, im Extremfall sogar bei minus 140 Grad Celsius und mehr. Sie können daher mit relativ preiswertem flüssigem Stickstoff gekühlt werden.

Terahertzstrahlung heißt der Teil des elektromagnetischen Spektrums zwischen 100 Mikrometern und einem Millimeter Wellenlänge, sie liegt also zwischen der Infrarotstrahlung und der Mikrowellenstrahlung. Neben vielen Anwendungen in der Forschung wird sie auch in Körperscannern zur Sicherheitsüberprüfung von Personen eingesetzt und könnte zudem für die medizinische Diagnostik nützlich sein.

jugend forscht 2018

schüler experimentieren



Spring!



GEFÖRDERT VOM



Bundesministerium
für Bildung
und Forschung

Eine Maus beißt sich durch

Wo es Menschen gibt, leben auch Mäuse. Kaum ein Tier hat sich so gut an die von uns geschaffenen Lebensräume angepasst wie die Hausmaus. Für **Diethard Tautz** vom **Max-Planck-Institut für Evolutionsbiologie** in Plön lag es also nahe, die kleinen Nager als Modellsystem für die Arbeitsweise der Evolution zu erforschen.



TEXT CORNELIA STOLZE

Die Mäuse am Max-Planck-Institut in Plön bewohnen ihr eigenes Haus: In 16 Zimmern können sie nach eigenem Gutdünken Familienverbände und Territorien bilden. Die Experimente, mit denen Tautz und seine Kollegen unter anderem Kommunikation, Verhaltensweisen und Partnerschaften der kleinen Nager studieren, dauern manchmal Monate. In dieser Zeit sind die Mäuse weitgehend sich selbst überlassen. Menschen betreten ihr Reich nur, um sauber zu machen und die Tiere mit Nahrung und Wasser zu versorgen.

Das Plöner Mäusehaus entspricht den Ansprüchen seiner Bewohner voll und ganz, denn Hausmäuse leben in der Natur in großen Familiengruppen, pflegen intensiven Körperkontakt und kommunizieren ausgiebig miteinander. Das bekannte Piepsen der Mäuse ist dabei nur ein kleiner Ausschnitt aus dem Lautrepertoire der Nager. Der größte Teil der Kommunikation erfolgt im für menschliche Ohren nicht wahrnehmbaren Ultraschallbereich. Die

Laute sind zwar auch für die Mäuse selbst nur 30 bis 50 Zentimeter weit hörbar, sie transportieren jedoch hochkomplexe Botschaften.

Diethard Tautz und seine Kollegen haben die Erfahrung gemacht, dass Hausmäuse sich nur dann natürlich verhalten, wenn sie in einer vertrauten Umgebung leben und sich mit Artgenossen austauschen. Werden wild lebende Tiere gefangen, verlieren sie ihre vertraute Umgebung: Alles riecht und schmeckt anders, zudem können sie sich nicht mehr frei bewegen. Und am allerwichtigsten: Der Kontakt zur Familie fehlt – ein zentrales Element im Leben dieser äußerst sozialen Tiere.

MODELL FÜR DIE EVOLUTION

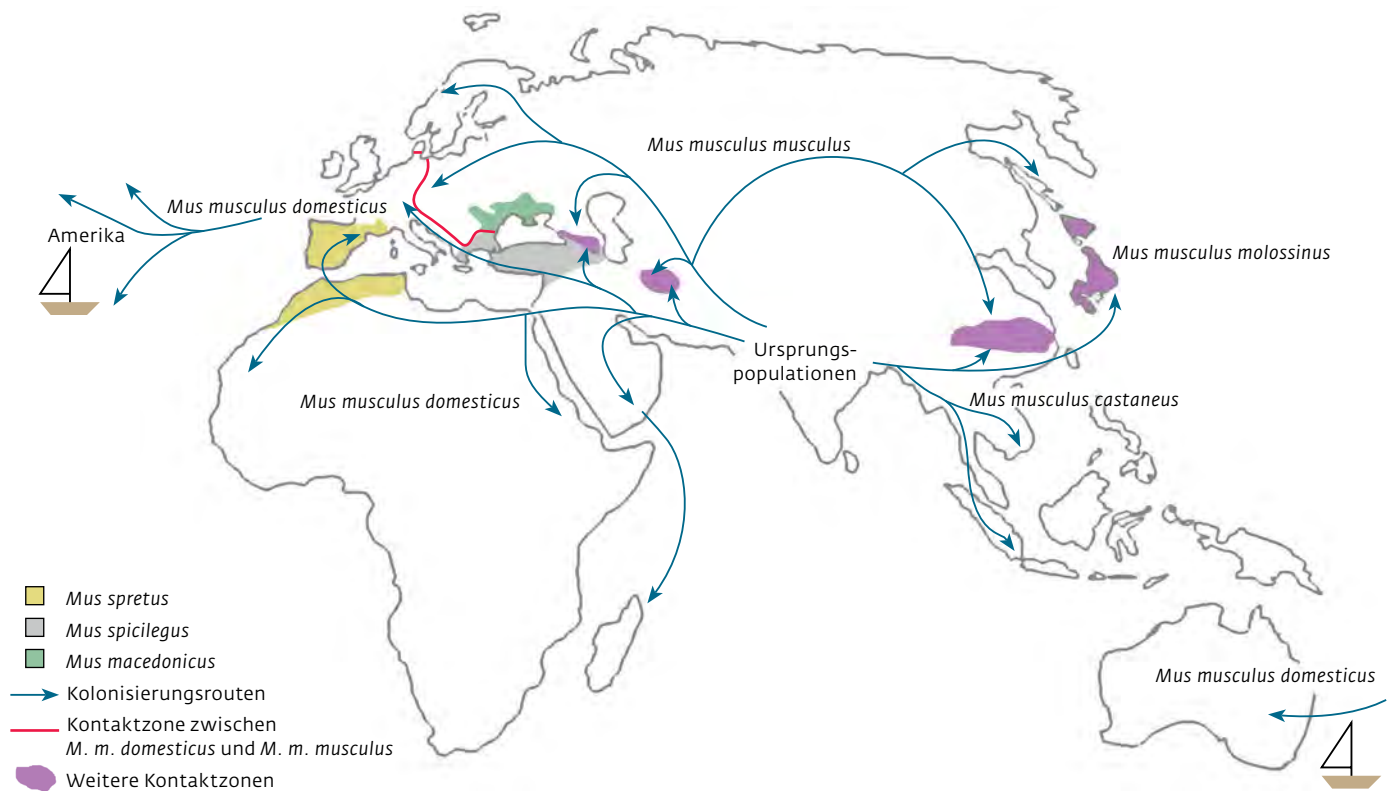
Im Mäusehaus können die Mäuse ihr natürliches Verhaltensrepertoire dagegen voll ausleben. Nur so lässt sich die jüngste Evolution der Nager untersuchen, denn die Ergebnisse der Forschungen aus den vergangenen Jahren haben gezeigt, dass Unterschiede im Verhalten ein Schlüsselfaktor für die

Entstehung neuer Arten sein können. Für Tautz ist die Hausmaus ein Modell für die Abläufe der Evolution: An kaum einer anderen Tierart lassen sich die genetischen Mechanismen der Evolution so gut untersuchen.

„Sie ist nicht nur extrem anpassungsfähig, wie ihre Ausbreitung rund um den Globus zeigt. Wir kennen auch ihr Erbgut so gut wie kaum ein anderes“, sagt Tautz. Schließlich züchten und untersuchen Wissenschaftler Mäuse seit mehr als hundert Jahren im Labor, untersuchen ihr Verhalten und entschlüsseln ihr Genom. Die heutigen Labormäuse stammen ursprünglich von der Hausmaus ab, besitzen aber im Vergleich zu ihren wilden Verwandten eine viel geringere genetische Vielfalt.

Die ersten Vorfahren der Hausmaus leben vor rund 500 000 Jahren in der Region des heutigen Iran, wo sie sich in Unterarten aufgespaltet haben. Als dort Menschen vor etwa 14 000 Jahren sesshaft werden und Landwirtschaft betreiben, beginnt für die Mäuse ein neues Zeitalter: Den Kornfeldern und Vorrats-

Während die Augen der Hausmaus (*Mus musculus*) eher schwach entwickelt sind, spielen Nase und Ohren für das Sozialleben der Nager eine große Rolle: Ihre Lautäußerungen sind dabei so komplex, dass die Tiere sogar „Dialekte“ entwickeln können. Solche regionalen Unterschiede beeinflussen, welche Fortpflanzungspartner die Mäuse wählen.



kammern der ersten Bauern können die Nager nicht widerstehen. Eine zuverlässigere und bequemere Nahrungsquelle lässt sich kaum denken.

Fortan erobert die Hausmaus im Schlepptau des Menschen die Welt. Sie folgt dabei verschiedenen Verbreitungsrouten: Die östliche Hausmaus (*Mus musculus musculus*) besiedelt Nordasien und Osteuropa und passt sich an das kontinentale Klima an. Die westliche Hausmaus (*Mus musculus domesticus*) gelangt mit phönizischen Handelsschiffen übers Mittelmeer nach Westeuropa mit seinem atlantischen Klima. Mit den ersten europäischen Seefahrern gelangt sie dann bis nach Amerika, Australien, Taiwan und selbst zu abgelegenen Archipelen wie den Färöer-Inseln.

Mit europäischen Walfängern dringt die Maus fast bis zur Antarktis vor, in Regionen, wo sie sich innerhalb kürzester Zeit auf Durchschnittstemperaturen von knapp unter fünf Grad Celsius einstellt. Um diese Vielfalt untersuchen zu können, leben am Plöner Max-Planck-

Institut mittlerweile Mäuse aus aller Welt: Neben Hausmäusen aus Deutschland und Frankreich auch Tiere von den Färöern, aus Spanien, Österreich, Kasachstan, Iran und sogar aus Taiwan.

VOM VEGETARIER ZUM FLEISCHFRESSER

Wo es nötig war, hat die Hausmaus sogar ihren ursprünglich vegetarischen Speiseplan umgestellt. So ernähren sich die Nachfahren der ehemaligen Seefahrmäuse heute hauptsächlich von Insekten, Würmern und Larven. Auf Helgoland haben sie sich sogar an den Verzehr toter Seevögel gewöhnt. Die Flexibilität geht so weit, dass die Maus bei entsprechendem Nahrungsangebot nicht einmal direkten Zugang zu Wasser braucht.

Vor wenigen Jahren hat Diethard Tautz einen möglichen Schlüssel zum evolutionären Erfolg der Hausmaus entdeckt: Aus Teilen des Genoms können innerhalb kurzer Zeit neue funkti-

onsfähige Gene werden. Bisher gaben diese Erbgutabschnitte Rätsel auf, denn sie enthalten keine Informationen, die sich in funktionstüchtige Proteine übersetzen lassen. Bis zu 90 Prozent des Mausgenoms wurden deshalb als Junk(Schrott)-DNA eingestuft. Die Max-Planck-Arbeitsgruppe hat jedoch entdeckt, dass aus solchen ursprünglich funktionslosen DNA-Sequenzen neue Gene entstehen können. „Sie sind tatsächlich komplette Neuerfindungen – ein Phänomen, das man zuvor für unmöglich gehalten hatte“, erklärt der Evolutionsbiologe.

Durch genetische Analysen an mehreren Arten von Mäusen haben Tautz und seine Kollegen herausgefunden, dass nur ein geringer Prozentsatz der DNA in Proteine übersetzt wird. Trotzdem wird fast jeder DNA-Abschnitt in ein RNA-Molekül umgeschrieben und kann so ein Kandidat für ein neues Gen sein. Abgelesene, aber nicht in Proteine übersetzte DNA-Abschnitte werden daher auch Vorläufergene oder Protogene

Linke Seite Ursprung und Verbreitung der Hausmaus: Vor zwei Millionen Jahren haben sich ihre nächsten Verwandten *M. spretus* (gelb), *M. spicilegus* (grau) und *M. macedonicus* (grün) getrennt, ihre Verbreitungsgebiete überlappen sich heute in verschiedenen Regionen Europas. Vor einer halben Million Jahren haben sich dann im Bereich des heutigen Indien und Iran Unterarten der Hausmaus herausgebildet. Im Schlepptau der ersten Bauern breiteten sich die Nager nach und nach über den Globus aus: Die östliche Hausmaus (*M. m. musculus*) wanderte nach Nordasien und Osteuropa aus, die asiatische (*M. m. castaneus*) nach Ostasien und die westliche (*M. m. domesticus*) nach Westeuropa. Von dort besiedelte die westliche Hausmaus per Schiff schließlich alle übrigen Kontinente. In verschiedenen Regionen der Erde treffen die Unterarten wieder aufeinander und vermischen sich (lila). Ein Beispiel dafür ist eine enge Hybridzone in der Mitte Europas (rote Linie). In Japan ist durch Kontakt zwischen der östlichen und asiatischen Hausmaus eine neue Hybrid-Unterart entstanden, *M. m. molossinus*.

Rechts Diethard Tautz am Demonstrationsgehege im Besucherraum des Max-Planck-Instituts für Evolutionsbiologie. Hier leben Mäuse in einer abwechslungsreichen Umgebung unter beinahe natürlichen Bedingungen. Die eigentlichen Experimentalaräume sind mit den gleichen Strukturelementen ausgestattet.

genannt. Ob sie zu Genen werden oder nicht, hängt von der Umwelt ab: Übernimmt ein RNA-Molekül eine wichtige Funktion, bleibt der codierende Abschnitt der DNA aktiv und erhalten. Findet das RNA-Molekül keine nützliche Aufgabe, wird der Abschnitt wieder zu nicht codierender DNA.

Aber auch durch einen zweiten Mechanismus entstehen neue Gene: Wenn durch einen Wechsel des DNA-Leserahmens aus einem ursprünglich nicht codierenden Abschnitt ein Gen für ein Protein wird. Ein Leserahmen umfasst drei aufeinanderfolgende Buchstaben des genetischen Alphabets. Jedes dieser Triplets steht für eine Aminosäure, in die der genetische Code übersetzt wird. Verschiebt sich dieser Leserahmen, entstehen neue Triplets, und die Buchstabenfolge kann in Aminosäuren übersetzt werden. Die Pioniere Wissenschaftler haben mehrere Gene identifiziert, die durch einen solchen Wechsel des Leserahmens überschrieben wurden. Ein Beispiel ist das soge-





Diethard Tautz und seine Mitarbeiterin Christine Pfeifle haben alle Vorbereitungen getroffen. Die Bewohner bleiben fortan über Monate hinweg ungestört, nur Kameras zeichnen ihr Verhalten auf. Die Räume sind mit Holzspänen zum Wühlen und Graben sowie Futterschalen und Wasserflaschen ausgestattet, die roten „Häuschen“ mit Zugangsröhren und abnehmbarem Deckel dienen als Nester. Je nach Experiment leben die Mäuse in unterschiedlich ausgestatteter Umgebung: In diesem wenig strukturierten Experimentalraum untersuchen die Forscher beispielsweise das Sozialverhalten und die Bildung von Territorien der besonders sozialen Art *Mus spicilegus*. Die Tiere haben sich gemeinsam in einer Ecke unter einem Haufen Einstreu ein Nest gebaut (hinten) und alle Futtermittel in der Mitte des Raumes zusammengetragen.

nannte Hoxa9-Gen – ein Gen, das die Embryonalentwicklung steuert. Dieses Gen nutzt bei Nagetieren und Primaten einen solchen zusätzlichen alternativen Leserahmen.

Die Forscher vermuten, dass sich Gene häufig neu bilden. Ihren Ergebnissen zufolge stammen nur etwa 60 Prozent der Mausgene aus der Frühphase der Evolution. Im Laufe der Zeit wird offenbar jeder Teil des Erbguts irgendwann einmal abgelesen und getestet, ob er als Gen taugt. „Die nicht codierenden Genomabschnitte sind somit ein Reservoir für neue Gene, die so zu einer schnellen Anpassung an neue Lebensräume beitragen können. Darin steckt ein enormes Potenzial für die Evolution, von dem wir zuvor nichts wussten“, sagt Tautz.

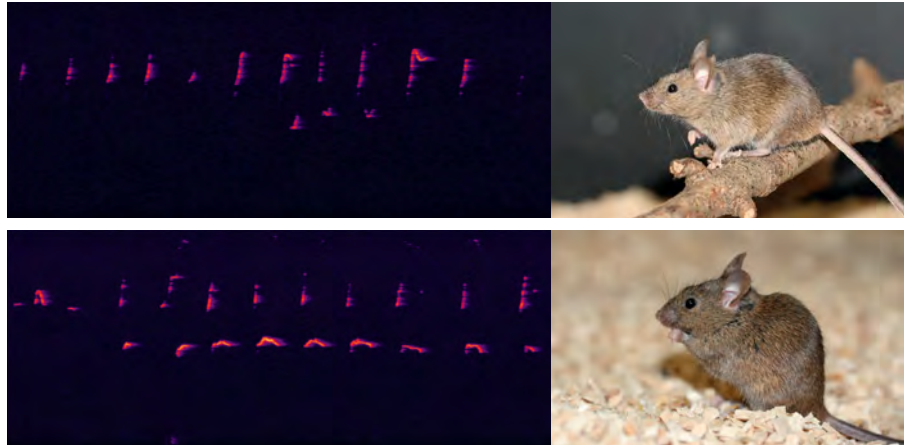
Die Studien am Max-Planck-Institut in Plön haben zudem gezeigt, dass die Entstehung neuer Gene unter bestimmten Umständen stark ansteigen kann. Besonders viele neue Gene kommen nach großen ökologischen Veränderungen hinzu: So sind etwa am Übergang zur Erdneuzeit nach dem Aussterben der Dinosaurier und in der jüngsten Entwicklungslinie zur Maus besonders viele Gene neu entstanden.

Auch immer dann, wenn die Hausmaus im Laufe der Evolution auf einen neuen Lebensraum traf, bildeten sich Populationen mit unterschiedlichen Eigenschaften heraus, die verschiedene ökologische Nischen besetzten – ein Radiation genanntes Phänomen. „Lange Zeit glaubte man, eine solche Anpassung an neue Lebensbedingungen sei ein sehr langsamer Prozess“, erklärt Tautz. „Neuere Untersuchungen haben aber gezeigt, dass Tiere sich manchmal schon nach einigen Dutzend Generationen anpassen, Mäuse also innerhalb nur weniger Jahre.“

INSEL-MÄUSE GEHEN EIGENE WEGE

Die Folgen der Radiation sowie die rasante Anpassung von Tieren an neue Verhältnisse können Tautz und seine Kollegen gleich an der Hausmaus an mehreren Stellen in Deutschland studieren, unter anderem auf Helgoland. Auf der 50 Kilometer vom Festland entfernten Nordseeinsel sind Hausmäuse erst vor wenigen Hundert Jahren an Bord von Schiffen angekommen. „Im Maßstab der Evolution entspricht das einem Wimpernschlag.

Vergleich einiger Ultraschalllaute von Tieren derselben Unterart *M. m. domesticus* aus Frankreich (oben) und Deutschland (unten). Die Tiere kommunizieren mittels komplexer Silben, welche sich von Region zu Region unterscheiden können. Besonders viel kommunizieren Weibchen miteinander – vor allem, wenn sie unter sich sind. Im Kontakt mit Männchen verwenden die Weibchen weniger und andere Laute.



Trotzdem unterscheiden sich die Tiere bereits deutlich von den auf dem Festland lebenden Artgenossen“, sagt der Max-Planck-Forscher.

Die Evolutionsbiologen führen das unter anderem auf das unterschiedliche Nahrungsangebot zurück: Während sich Hausmäuse auf dem Festland überwiegend von pflanzlicher Kost ernähren, haben sich ihre Verwandten auf Helgoland notgedrungen an Fleisch gewöhnen müssen, denn Landwirtschaft gibt es auf der Insel nicht. Stattdessen fressen sie nun vermutlich verendete Seevögel; auf jeden Fall hat sich ihr Kauapparat in Richtung einer eher fleischfressenden Art entwickelt.

Mit den vom Festland ständig neu eingeschleppten Verwandten mischen sich die Helgoländer Mäuse fast gar nicht mehr. Es ist also nur eine Frage der Zeit, wann aus den Helgoländer Tieren eine eigene Art entsteht, denn wenn zwei Populationen keine Gene mehr austauschen, treten in den beiden Gruppen unterschiedliche Mutationen auf. In der Folge entwickeln sie sich auseinander. Eine solche geografische Isolation, verbunden mit neuen Anpassungen, gilt als einer der Mechanismen für die Entstehung neuer Arten.

Bereits weiter fortgeschritten ist diese sogenannte allopatrische Artbildung bei den östlichen und westlichen Unterarten *M. m. musculus* und *M. m. domesticus*. Noch gehören beide zu einer Art. Doch sowohl genetisch als auch in ihrem äußeren Erscheinungsbild sind sie gut unterscheidbar. Und auch fortpflanzen können sich die beiden Gruppen nur noch eingeschränkt. Dies lässt sich besonders gut an der Verbreitungsgrenze der beiden Unterarten entlang der Klimascheide zwischen atlantischem und kontinentalem Klima beobachten: In einem 40 Kilometer breiten Streifen entlang dieser Grenze überlappen sich die Verbreitungsgebiete in einer sogenannten Hybridzone. Hier kommen die Tiere miteinander in Kontakt und pflanzen sich regelmäßig fort.

Das Erbgut solcher Hybride besteht folglich aus dem der westlichen und der östlichen Unterart. Offenbar sind die Genome der beiden aber nur mehr begrenzt miteinander kompatibel, denn die Mischlinge leiden unter einem schwachen Immunsystem und werden häufiger von Parasiten befallen. Dies wirkt sich auch auf die Darmflora der Nager aus. So hat John Baines, Gastprofessor am Plöner Max-Planck-Institut,

die Artenvielfalt der Darmbakterien genetisch analysiert. Demnach besteht die Darmflora der Hybriden einerseits aus weniger Bakterienarten, gleichzeitig kommen die jeweiligen Arten auch unterschiedlich häufig vor. Eine Hybridmaus hat beispielsweise deutlich mehr *Helicobacter*-Bakterien als ihre reinrassigen Eltern. Diese Mikroben können beim Menschen Darmgeschwüre hervorrufen.

IMMUNSYSTEM VERÄNDERT DARMFLORA

Die Erklärung der Wissenschaftler: verschiedene Varianten von Genen für das Immunsystem, folglich unterschiedliche Immunzellen. So haben die Hybridmäuse andere T-Zellen. Diese Immunzellen kommen auch im Darmgewebe vor und beeinträchtigen dort offenbar die Bakterien. Das ist anscheinend nicht zum Wohl der Mäuse, denn das Darmgewebe der Mischlinge ist häufiger entzündet als das der Elterntiere.

Außerdem ist bei Hybriden die Spermienreifung stark gestört, sie bringen folglich weniger Junge zur Welt. Leslie Turner und Bettina Harr, zwei ehemalige Mitarbeiterinnen von Tautz, haben



ein kompliziertes Geflecht aus Interaktionen verschiedener Genregionen aufgedeckt, das die Fortpflanzung zwischen den Hybriden im Laufe der Evolution unterbinden kann. Auf diese Weise verstärken sich die Unterschiede zwischen den Mausformen immer weiter, bis aus den zwei Unterarten vollständig getrennte Arten entstanden sind. Kreuzungen der beiden Unterarten können sich folglich in der Natur nicht dauerhaft durchsetzen. „Sind die Nachkommen einer Kreuzung weniger fit als ihre Eltern, driften die Populationen unweigerlich auseinander“, folgert Diethard Tautz.

Doch nicht nur körperliche Unterschiede führen zur Spaltung einer Art, häufig sind Differenzen im Verhalten der Ausgangspunkt für die Trennung: Aus einer bunt gemischten Gruppe, in der theoretisch alle Männchen und Weibchen gemeinsame Nachkommen zeugen können, entstehen auf diese Weise Populationen, die nicht mehr gut harmonieren – sei es, weil sich die Tiere gegenseitig nicht mehr attraktiv finden, eine Gruppe andere Nester baut oder die Weibchen zu unterschiedlichen Zeiten fruchtbar sind. Solche Verhaltensänderungen sind der

Hauptgrund für die beginnende Isolation einer oder mehrerer Gruppen innerhalb einer Population. Forscher sprechen in diesem Fall von sympatrischer Artbildung.

GENE FÜR DIE PARTNERWAHL

Im Erbgut der Maus sind Tautz und sein Team vor Kurzem auf einen Komplex aus mehreren Genen gestoßen, der offenbar die Partnerwahl der Tiere maßgeblich beeinflusst. Diese sogenannte PWS-Region steuert gleich mehrere Verhaltensweisen und sorgt dafür, dass sich zwischen einzelnen Populationen unterschiedliche „Persönlichkeiten“ herausbilden. So haben die Forscher entdeckt, dass sich wild lebende westliche Hausmäuse aus Westdeutschland und Südfrankreich in ihrem Paarungsverhalten unterscheiden.

„Wenn wir Tiere aus der Gegend um Köln, also westlich der Hybridzone, mit Artgenossen aus dem französischen Zentralmassiv in unserem Mäusehaus zusammenbringen, paart sich anfangs jeder mit jedem“, sagt Tautz. „Doch bei den Nachkommen zeigt sich etwas Überraschendes: Die Mäuse mit einem deutschen und einem

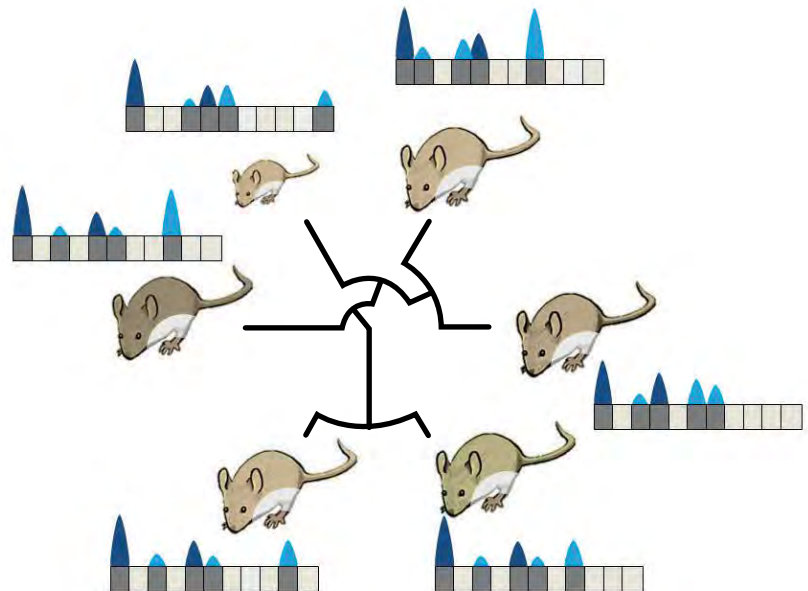
französischen Elternteil bevorzugen später selbst Partner mit dem Ursprung des Vaters.“

Noch ist unklar, was genau die Ursachen für derlei Präferenzen sind. Fest steht nur, dass bei Mäusen die Attraktivität des Gegenübers über Geruchsstoffe und Laute im Ultraschallbereich von 50 bis 70 Kilohertz vermittelt wird. „Ursprünglich haben wir vermutet, dass vor allem die Männchen über die Laute Paarungssignale vermitteln, ähnlich wie beim Gezwitscher von Singvögeln. Aber dann haben wir beobachtet, dass Weibchen viel mehr miteinander kommunizieren, insbesondere, wenn sie unter sich sind“, so Tautz.

Französische und deutsche Mäuse unterscheiden sich in ihren Lautäußerungen, sprechen also quasi verschiedene Sprachen – und das, obwohl sie zur selben Unterart gehören. Dies trägt zur Trennung der Populationen bei, aber die Suche nach der Ursache für die väterliche Präferenz geht noch weiter. Die deutsche und die französische Mauspopulation waren ganz offensichtlich lange genug räumlich voneinander getrennt, dass sich bereits erste Anzeichen für eine Auseinanderentwicklung innerhalb dieser Unterart zeigen.

Linke Seite Diethard Tautz (stehend), Johana Fajardo, Derek Caetano-Anolles, Chen Xie, Kristian Ullrich und Wenyu Zhang (im Uhrzeigersinn) diskutieren ihre Projekte.

Rechts Unterschiedlich stark aktive DNA-Abschnitte im Erbgut verschiedener Mäusearten (schwarze Linien geben Verwandtschaftsverhältnisse an): Dunkelgraue Kästchen stehen für Regionen, die in RNA-Moleküle übersetzt werden, die Höhe der darüberliegenden Dreiecke symbolisiert die Menge an gebildeter RNA. Während zehn Prozent des Erbguts in allen Tieren identisch genutzt werden (linkes Kästchen), werden sogenannte nicht codierende Abschnitte unterschiedlich stark abgelesen. Die dabei gebildeten RNA-Moleküle bleiben nur erhalten, wenn sie einen evolutionären Vorteil bieten. Dann können aus den Abschnitten neue Gene entstehen.



Darüber hinaus beschleunigt ein weiterer Aspekt des Sexualverhaltens die Artbildung: Mäuse haben zwar viele verschiedene Geschlechtspartner, die Forscher haben aber auch regelmäßig Fälle von Partnertreue und Inzucht gefunden. In den Verhaltensräumen bilden sich oft Großfamilien heraus, in denen Väter mit Töchtern und Mütter mit Söhnen Nachwuchs zeugen. Das fördert die Bildung genetisch einheitlicher Gruppen und verstärkt somit den Artbildungsprozess. Diese natürlich vorkommende Inzucht ist auch der Grund, warum Mäuse sich so gut als genetisches und biomedizinisches Modellsystem eignen: Die dafür erforderlichen genetisch einheitlichen Inzuchtstämme lassen sich bei Mäusen besonders einfach aufbauen.

Die Arbeiten von Diethard Tautz und seinen Kollegen zeigen, dass Mäuse viel mehr sind als Schädlinge und Krankheitsüberträger. Ihre Ausbreitung über den Globus ist vielmehr ein Lehrstück dafür, wie sich Organismen an neue Lebensräume anpassen können. Die verschiedenen Hausmaus-Populationen auf der Erde stellen also Experimente der Evolution dar, aus denen eines Tages neue Arten hervorgehen könnten. ◀

AUF DEN PUNKT GEBRACHT

- **Neue Eigenschaften entstehen in der Evolution nicht nur durch die Abwandlung bestehender Gene. Es können auch komplett neue Gene aus zuvor nicht codierenden DNA-Abschnitten hervorgebracht werden. Dies geschieht vor allem dann, wenn es zu großen ökologischen Veränderungen kommt oder wenn Arten neue Lebensräume besiedeln.**
- **Populationen und Unterarten der Hausmaus haben sich als Kulturfolger des Menschen über die ganze Welt verbreitet und sich immer wieder neu angepasst. Sie stellen damit gewissermaßen ein natürliches Experiment der Evolution dar, anhand dessen sich die Entstehung neuer Arten untersuchen lässt.**
- **Unterschiede im Verhalten wie etwa bei der Partnerwahl und in der Entstehung von Sozialsystemen sind erste Schritte für die Spaltung in zwei getrennte Arten.**

GLOSSAR

Allopatrische Artbildung: Dabei werden die Individuen einer Art durch äußere Einflüsse wie Gebirge oder Meeresarme voneinander getrennt. Die räumliche Isolation führt auf Dauer dazu, dass sich in den Teilpopulationen unterschiedliche Mutationen ansammeln und sich so genetische Unterschiede herausbilden. Die Tiere können sich nicht mehr erfolgreich miteinander fortpflanzen, und es entstehen zwei neue Arten. Spalten sich Arten ohne räumliche Trennung auf, spricht man von sympatrischer Artbildung.

Radiation: Auffächerung einer Organismengruppe oder Art in eine größere Zahl neuer Arten. Diese passen sich dabei an neue ökologische Nischen an und bilden so neue Eigenschaften. Die Anzahl neuer Arten kann dabei sprunghaft ansteigen, etwa wenn ein neuer Lebensraum besiedelt wird. Zerfällt dagegen ein ursprünglich zusammenhängender Lebensraum, kann dies ebenfalls die Entstehung neuer Arten auslösen – dies erfolgt aber kontinuierlicher über einen längeren Zeitraum. Auch wenn Konkurrenten wegfallen, können neue Arten die frei werdenden ökologischen Nischen übernehmen, wie dies beispielsweise die Säugetiere nach dem Aussterben der Dinosaurier getan haben. Eine erfolgreiche evolutionäre Innovation kann ebenfalls die Entstehung vieler neuer Arten zur Folge haben.

Biomoleküle – in Szene gesetzt

Für Techniken, die neue Einblicke in die Nanowelt ermöglichen, gibt es immer wieder Nobelpreise. Doch keine dieser Methoden erlaubte es bislang zu verfolgen, wie Enzyme und andere Biomoleküle im Detail arbeiten. Das hat **Frank Vollmer**, Leiter einer Forschungsgruppe am **Max-Planck-Institut für die Physik des Lichts** in Erlangen, geändert – mit einem plasmonischen Nanosensor.

TEXT **CHRISTIAN MEIER**

Frank Vollmer hat keinen Umweg gescheut. Zwar stecken Wissenschaftler häufig viel Zeit in die Entwicklung neuer Methoden, vor allem, wenn sie etwas fundamental Neues untersuchen möchten. Doch der Biochemiker Vollmer hat rund 20 Jahre als Physiker gearbeitet, um das Werkzeug zu entwickeln, mit dem er sein Vorhaben umsetzen konnte. Denn seit er in den 1990er-Jahren in Hannover Biochemie studierte, wollte er der Maschinerie des Lebens beim Arbeiten zusehen.

Das treibt ihn noch heute an, da er am Max-Planck-Institut für die Physik des Lichts in Erlangen eine Forschungsgruppe leitet und mittlerweile zum Professor an der Universität Exeter berufen wurde. Er möchte verstehen, warum die winzigen Maschinen, die das Leben am Laufen halten, manchmal ins Stocken geraten und wir krank werden. Um sei-

nen Plan zu verwirklichen, musste Vollmer zum Erfinder werden. Er brauchte eine Art Kamera, welche einzelne Enzyme und die Bewegungen ihrer Komponenten filmt. So etwas schien die Physik jedoch zu verbieten. Und dennoch erhaschte der Wissenschaftler jüngst einen Blick in einen der feinsten Mechanismen des Lebens.

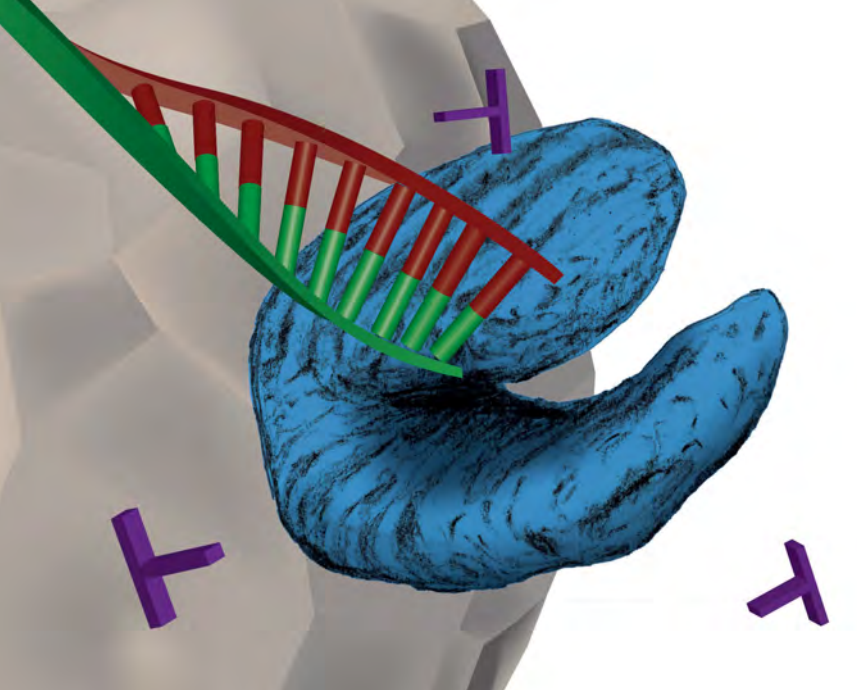
BIOLOGISCHE WERKZEUGE ARBEITEN WIE TECHNISCHE

„Wir bestehen aus Nanotechnologie“, sagt Vollmer. Das stimmt. Denn zum einen messen Proteine, Enzyme und andere Biomoleküle nur wenige Nanometer. Ein Nanometer, der millionste Teil eines Millimeters, ist, verglichen mit einem Fußball, so winzig wie ebendieser Fußball im Verhältnis zur Erdkugel. Zum anderen dienen die winzigen Arbeitstiere des Körpers wie menschen-

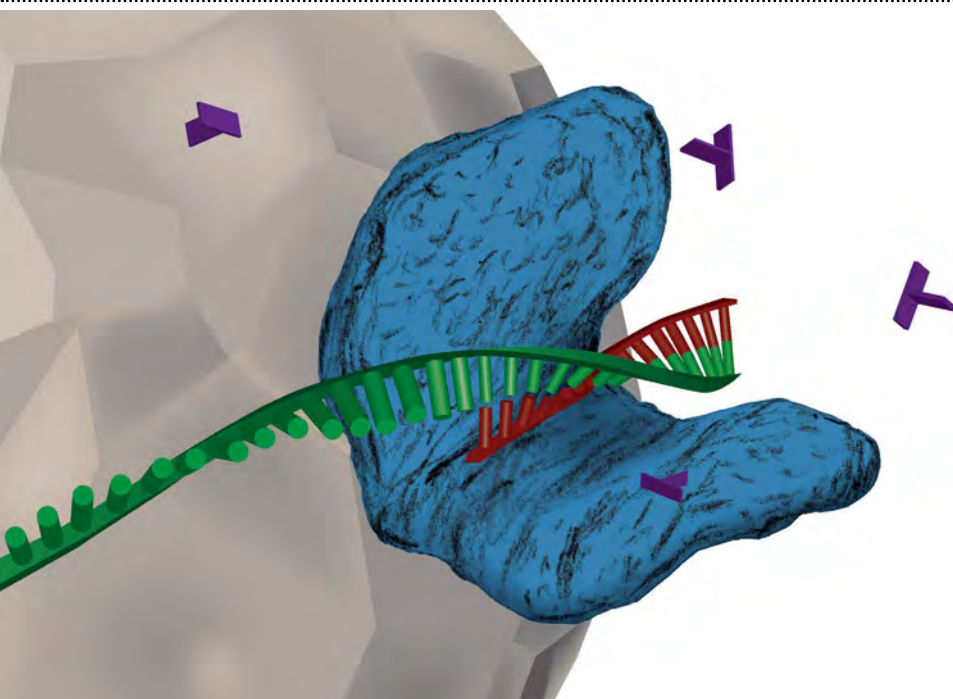
gemachte Maschinen jeweils einem bestimmten Zweck – ein Protein transportiert Sauerstoff, ein anderes zerlegt Zuckermoleküle, ein drittes liest Erbinformation – und haben oft bewegliche Komponenten.

An einem Enzym, das einen Urprozess des Lebens abwickelt, wird deutlich, wie ähnlich biologische und technische Werkzeuge arbeiten: Die DNA-Polymerase reproduziert das Erbgutmolekül und ermöglicht es dadurch Zellen, sich zu teilen. Dieser Vorgang liegt jeder Form der Fortpflanzung zugrunde. Das Enzym erinnert an eine Hand mit Daumen und Fingern, die den zu kopierenden DNA-Strang regelrecht greift.

Enzyme wie die DNA-Polymerase in Aktion zu filmen, ist vor allem dann wichtig, wenn die Biomaschinen klemmen. Ein Blick auf die Arbeit der Werkzeuge könnte dann enthüllen, woran es hakt. Wenn während der Zellteilung die



Ein Enzym packt zu: Wie eine Hand öffnet und schließt sich die DNA-Polymerase, um die Bausteine des Erbguts zu greifen. Wenn das Biomolekül an ein Nanodrähchen aus Gold gebunden ist, das Licht stark bündelt, verändert sich dabei der Überlapp mit dem Lichtfleck. Die Bewegung des Enzyms lässt sich so beobachten.

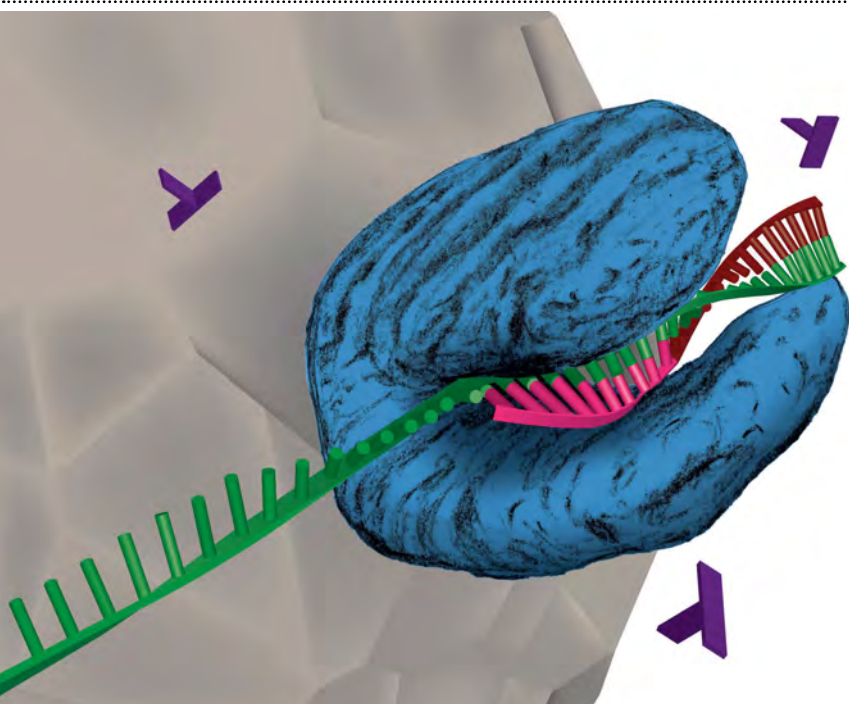


DNA kopiert wird, können Fehler passieren, ähnlich den Druckfehlern in einem Buch. Aus solchen Mutationen können unter Umständen Krankheiten wie etwa Krebs entstehen. Bei anderen Krankheiten, zum Beispiel Alzheimer, verändert sich die Form von Proteinen. Die Biomoleküle verlieren dadurch ihre Funktionsfähigkeit.

Frank Vollmer bedauert, dass die Wissenschaft bislang weitgehend blind ist für die Bewegungen der Biomoleküle. „Was so wichtig für das Verständnis von Krankheiten ist, können wir nicht sehen“, klagt er. „Dass die Hand sehr, sehr schnell auf- und zugeht, macht die Sache nicht leichter.“

Trotz der winzigen Dimensionen und der sehr schnellen Prozesse hat Frank Vollmer einen Weg gefunden, der Nanotechnik der Natur bei der Arbeit zuzusehen. Er bedient sich dabei – wie unsere Augen, Fotoapparate und Filmkameras – des sichtbaren Lichts. Lichtwellen sind ein unschädlicher Teil des elektromagnetischen Spektrums und unterscheiden sich in ihrer Sanftheit etwa von Röntgenstrahlen, deren hohe Energie Moleküle gleichsam pulverisieren kann. Zudem erwärmen sie die Probe kaum. Kurz: Sichtbares Licht ist ein praktisch neutraler Beobachter.

Dummerweise kann ein normales Lichtmikroskop Nanostrukturen aber nicht abbilden. Denn sichtbares Licht lässt sich nicht beliebig stark zu einem Lichtfleck bündeln: Weniger als etwa





Frank Vollmer ging der Frage nach, wie RNA abgelesen wird. Die dafür passende Methode musste erst entwickelt werden.

die Hälfte seiner Wellenlänge ist nicht drin. Also etwa 200 Nanometer. Zwar gibt es Methoden wie die STED-Mikroskopie, die mit physikalischen Tricks diese Auflösungsgrenze unterbieten. Doch damit lassen sich nur Zellbestandteile beobachten, die mit leuchtenden Molekülen, sogenannten Markern, gekennzeichnet werden. Die Leuchtpunkte zeigen dann an, wie sich die Biomoleküle bewegen, ähnlich wie Autoscheinwerfer nachts verraten, wohin ein Auto fährt. Doch vieles bleibt dabei im Dunkeln. Ob die leuchtenden Punkte zu einem Pkw oder einem Lastwagen gehören etwa oder ob an einem stehenden Auto eine Tür geöffnet wird. Genauso wenig zeigen die Leuchtmoleküle, ob und wie ein Protein seine Form verändert. Außerdem weiß man nie, ob die Markierung die Funktion des zu untersuchenden Biomoleküls nicht stört.

DAS ANALOGON ZU EINER FLÜSTERGALERIE

Frank Vollmer stieß an die Grenzen der optischen Beobachtung, spätestens als er während seiner Doktorarbeit an der New Yorker Rockefeller University der Frage nachging, wie der zweite Träger der Erbinformation, die RNA, abgelesen wird. „An diesem Punkt habe ich erkannt, dass die dafür passende Methode erst noch entwickelt werden muss.“ Der Biochemiker entschied sich, das selbst zu tun, und wurde dafür zum Physiker. Mit dieser Disziplin hatte er immerhin schon vor der Wahl seines Studienfachs geliebäugelt.

Bald begegnete Vollmer einer Technik, die in die richtige Richtung wies. Es handelt sich um das optische Analogon zu einer Flüstergalerie. In einem Rundbau ist ein an die Wand geflüsteres Wort auch an der gegenüberliegenden Seite gut zu verstehen, weil die Schallwellen der Rundung folgen, anstatt sich in alle Winde zu zerstreuen. Auf ähnliche Weise läuft eine Lichtwelle auf der Innenseite eines nur wenige Mikrometer, also tausendstel Millimeter, messenden Glaskügelchens, das Licht dreht darin sogar Zehntausende von Runden. Weil sich die Welle so immer wieder selbst begegnet, funktioniert das nur bei einer genau festgelegten Wellenlänge, die vom Umfang des Glaskügelchens abhängt. Denn nur dann überlagern sich die Wellenberge eines Umlaufs haargenau mit den Wellenbergen der vorangegangenen Umläufe; Physiker sprechen in diesem Fall von einer Resonanz. Das ist ähnlich wie beim Resonanzkörper eines Instruments, das aufgrund seiner Abmessungen nur bestimmte Töne verstärkt.

Der Effekt der optischen Flüstergalerie macht das Glaskügelchen zu einem sehr empfindlichen Sensor. Denn die Lichtwelle lappt ein wenig aus der Kugeloberfläche heraus. Klebt beispielsweise ein Virus oder ein Protein auf dem Mikrokügelchen, so tritt das Teilchen mit dem Licht in Wechselwirkung. Die Lichtwelle wird ein wenig gebremst. Das wirkt sich so aus, als würde sich die Wegstrecke entlang der Kugelwand verlängern. Daher ändert sich durch das Anhängsel die Resonanzwellenlänge des Mikrokügelchens. Zwar

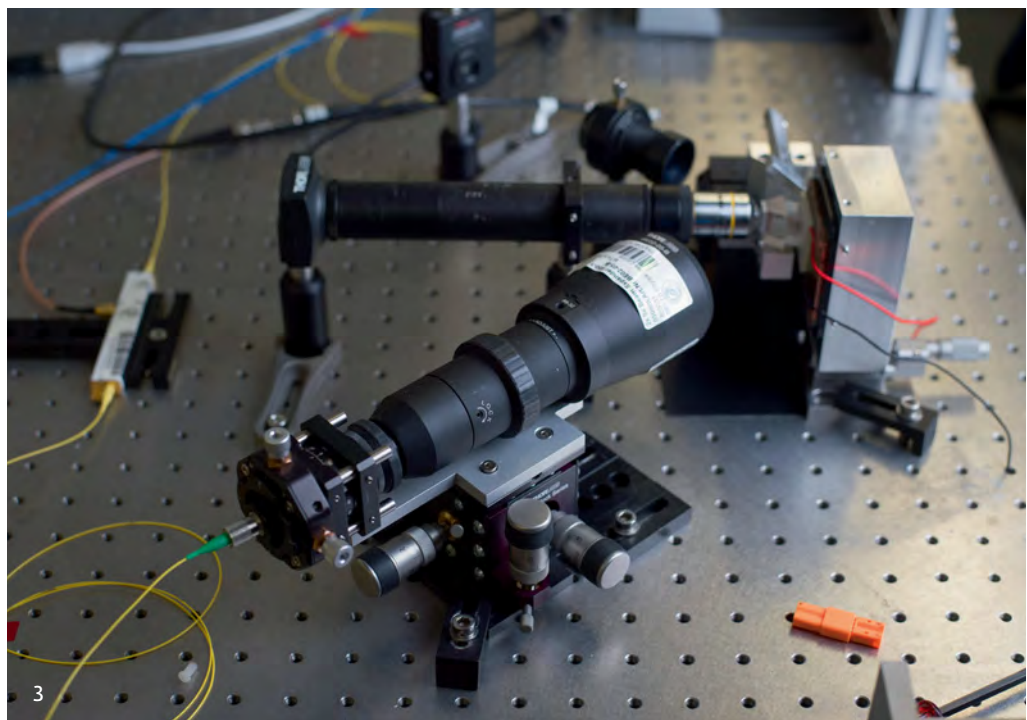
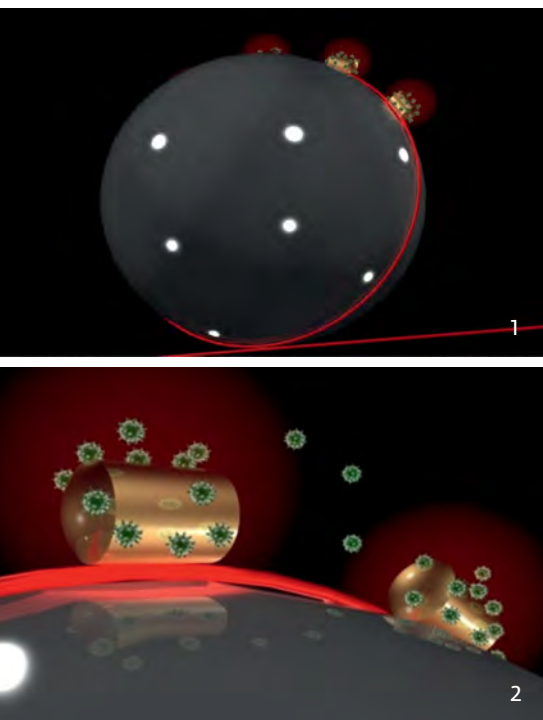
nur minimal. Aber dank der Schärfe der Resonanz lässt sich diese winzige Änderung messen.

Noch in New York gelang es Vollmer, die optische Flüstergalerie zum ersten Mal als Biosensor einzusetzen. Er leitete Laserlicht in ein Glaskügelchen und detektierte damit Proteine. Allerdings gelang es ihm damals lediglich, *viele* an das Kügelchen gebundene Proteine nachzuweisen. Denn nur dann änderte sich die Wellenlänge des umlaufenden Lichts messbar. Wie die Nanomaschinen des Lebens funktionieren, lässt sich aber nur an *einzelnen* Biomolekülen beobachten. Ein Kollektiv zeigt immer nur eine Art Durchschnittswert, aus dem sich das individuelle Verhalten eines Moleküls nicht ermitteln lässt.

DER TRICK: DIE KOMBINATION AUS OPTIK UND PLASMONIK

Als Leiter einer Arbeitsgruppe an der Harvard University entwickelte Vollmer die Methode deshalb weiter. Es gelang ihm schließlich, *einzelne* Viren mithilfe des Glaskügelchens nachzuweisen. Ein Achtungserfolg – doch das eigentliche Ziel, einzelne Biomoleküle zu beobachten, hatte er damit noch nicht erreicht. Denn ein Virus ist immer noch zehnmal größer als ein Protein.

„Wir erkannten schnell, dass es ungleich schwieriger sein würde, einzelne Biomoleküle nachzuweisen“, sagt Vollmer. Der Lichtweg ändert sich im Verhältnis zum Volumen eines detektierten Nanopartikels. Die Änderung durch ein einzelnes Molekül ist also nur etwa ein Tausendstel so groß wie



jene durch ein Virus und lag somit weit unter der Nachweisgrenze. Physikerkollegen empfahlen Vollmer, mit anderen Methoden neu anzusetzen. „Aber diese hätten wesentlich kompliziertere Versuchsaufbauten benötigt“, erklärt Vollmer. Er aber wollte ein Werkzeug, das Bioforscher relativ unkompliziert benutzen können.

Im Jahr 2010 sei dann die Idee gekommen, die den Durchbruch brachte, sagt der Biophysiker. Der Trick lag darin, die Optik mit einem ganz anderen Zweig der Physik zu kombinieren: der Plasmonik. Diese macht es sich zunutze, dass Elektronen in einem Metall eine Art Kollektiv bilden, ähnlich einer Flüssigkeit, die gegenüber den im Kristall fest verankerten Atomrümpfen beweglich ist. Weil die negativ geladenen Elektronen von den positiv geladenen Atomrümpfen wie von einer Spiralfeder angezogen werden, schwingt das Kollektiv hin und her. Die Schwingungen der elektrischen Ladung heißen Plasmonen.

Sie erzeugen eine elektrische Welle, die auf ähnliche Weise aus der Metalloberfläche herauslappt wie das Licht aus der optischen Flüstergalerie. Entscheidend für Vollmers Pläne war zudem, dass solche Plasmonen mit Licht wechselwirken können. Wenn die Forscher nun ein Nanodrähtchen, das etwa so groß ist wie ein einzelnes Biomolekül, auf einer optischen Flüstergalerie befestigen würden, müssten die herauslappenden Lichtwellen in dem Metall Plasmonen anregen. Dies würde wiederum Lichtwellen an der Oberfläche der Drähtchen erzeugen.

EIN HOTSPOT VERSTÄRKT DIE WECHSELWIRKUNG

Im Endeffekt würde ein Nanodrähtchen die Lichtwelle also aus dem Glaskügelchen herausziehen und sie auf einen Fleck von etwa der Größe eines Proteins konzentrieren. Diese Fokussierung auf einen Hotspot, wie Vollmer es nennt, würde die Wechselwirkung zwi-

Eine optische Flüstergalerie als Nanosensor: Wenn Laserlicht passender Farbe (hier rotes Licht) über eine Glasfaser in eine gläserne Mikrokugel geleitet wird, zirkuliert es in dem Kügelchen wie Schall in einem Rundbau (1). Nanodrähtchen aus Gold, die auf dem Kügelchen befestigt sind, konzentrieren das Licht durch einen plasmonischen Effekt. Proteine und andere Moleküle, die an die Nanodrähtchen binden (2), verändern die Wellenlänge des im Kügelchen gespeicherten Lichts und lassen sich so nachweisen. Solche Nanosensoren bewährten sich erstmals in einem Versuchsaufbau am Max-Planck-Institut für die Physik des Lichts (3).



Ein Nanodrähtchen zieht die Lichtwelle aus dem Glaskügelchen heraus und konzentriert sie auf die Größe eines Proteins.

schen Licht und Untersuchungsobjekt verstärken. Auf diese Weise könnte auch ein einzelnes Biomolekül den Weg des Lichts so weit verlängern, dass die Änderung messbar würde.

An die Umsetzung der Idee machte sich Vollmer am Max-Planck-Institut für die Physik des Lichts in Erlangen. Die DNA-Polymerase bot sich als Testenzym an. Denn das Öffnen und Schließen ihrer Hand sollte den Überlapp zwischen dem Enzym und dem Licht am Hotspot periodisch vergrößern und verkleinern, ähnlich wie sich der Schattenwurf einer Hand verändert, wenn sie sich vor einer Lichtquelle öffnet und schließt.

Zunächst sollte Isabel Schuldes, eine Masterstudentin in Frank Vollmers Gruppe, nun Nanodrähtchen aus Gold von 10 Nanometer Durchmesser und 40 Nanometer Länge an einem Glaskügelchen von 80 Mikrometer Durchmesser befestigen. Normalerweise binden elektrostatische Kräfte das Gold an das Glas. Doch im Erlanger Fall stand dieser Mechanismus im Konflikt mit den chemischen Bedingungen, wie sie die Polymerase braucht. Der von ihr bevorzugte pH-Wert brach die elektrostatische Bindung. Doch nach einer aufwendigen Suche fand Schuldes ein Linker-Molekül, das den Nanodraht an das Glaskügelchen bindet: „Das war ein tolles Erfolgserlebnis“, sagt die Forscherin.

Nun konnten die Wissenschaftler ihren Nanoscheinwerfer auf Biomaschinen richten. So befestigten die Wissenschaftler etwa DNA-Stränge an den Nanodrähten und tauchten ihren Nanosensor in eine Polymerase-Lösung. Das Enzym kopierte dann die befestigte DNA. In einem weiteren Experiment hefteten die Forscher die Polymerase an das Nanodrähtchen und mischten die DNA der Lösung bei. Schuldes hatte zuvor bestätigt, dass die Anbindung an das Gold die Aktivität des Enzyms nicht beeinträchtigt. In beiden Fällen befand sich die Polymerase während des Kopiervorgangs innerhalb des vom Nanodrähtchen konzentrierten Lichtflecks und sollte das Messsignal beim Öffnen und Schließen verändern.

DIE FORSCHER BEOBACHTETEN SOGAR EINZELNE IONEN

Und tatsächlich: Die Forscher beobachteten eine Art Atmen ihres Messsignals, mit einer Signaldauer von etwa 20 bis 50 millionstel Sekunden. „Wir haben die Proteindynamik zum ersten Mal ohne Marker beobachtet“, schließt Vollmer, und zwar im Wortsinn live, nämlich unter Bedingungen, wie sie in der Natur herrschen. Vollmer hält es gar für möglich, die Abfolge der genetischen Buchstaben aufzuzeichnen, während die Polymerase sie abliest.

Auch Kopierfehler könnten so detektiert werden. „Außerdem wäre dies eine sehr einfache und kostengünstige Methode, um das Erbgut zu untersuchen“, sagt Vollmer.

Nach diesem Erfolg fragten sich die Forscher, wo die Grenzen der neuen Methode liegen. Zu ihrem eigenen Erstaunen konnten sie sogar *einzelne* Ionen beobachten, also elektrisch geladene Atome. Die Zink- und Quecksilberionen, die sie sahen, haben einen hundertmal kleineren Durchmesser als ein Protein. Dabei half den Forschern, dass die Goldnanodrähtchen an der Spitze in einem einzelnen Goldatom enden. An der Kuppe bündelt sich der plasmonische Lichtfleck daher extrem scharf, sodass die Elektronen mehr Energie gewinnen, als sie sonst im Gold besitzen. Mit der geballten Energie aktivieren die Ladungsträger eine Reaktion zwischen den Goldatomen und den Quecksilberionen. Ebendiese Reaktion beobachteten die Erlanger Forscher.

„Es geht uns dabei nicht um den *Nachweis* einzelner Quecksilberionen“, betont Vollmer. Die Empfindlichkeit für einzelne Ionen lasse sich etwa nutzen, um die Funktion von Ionenkanälen zu untersuchen, meint er. Solche Kanäle sind etwa in die Membranen von Nervenzellen eingebettet und helfen, elektrische Reize durch die Nervenbahnen zu leiten.

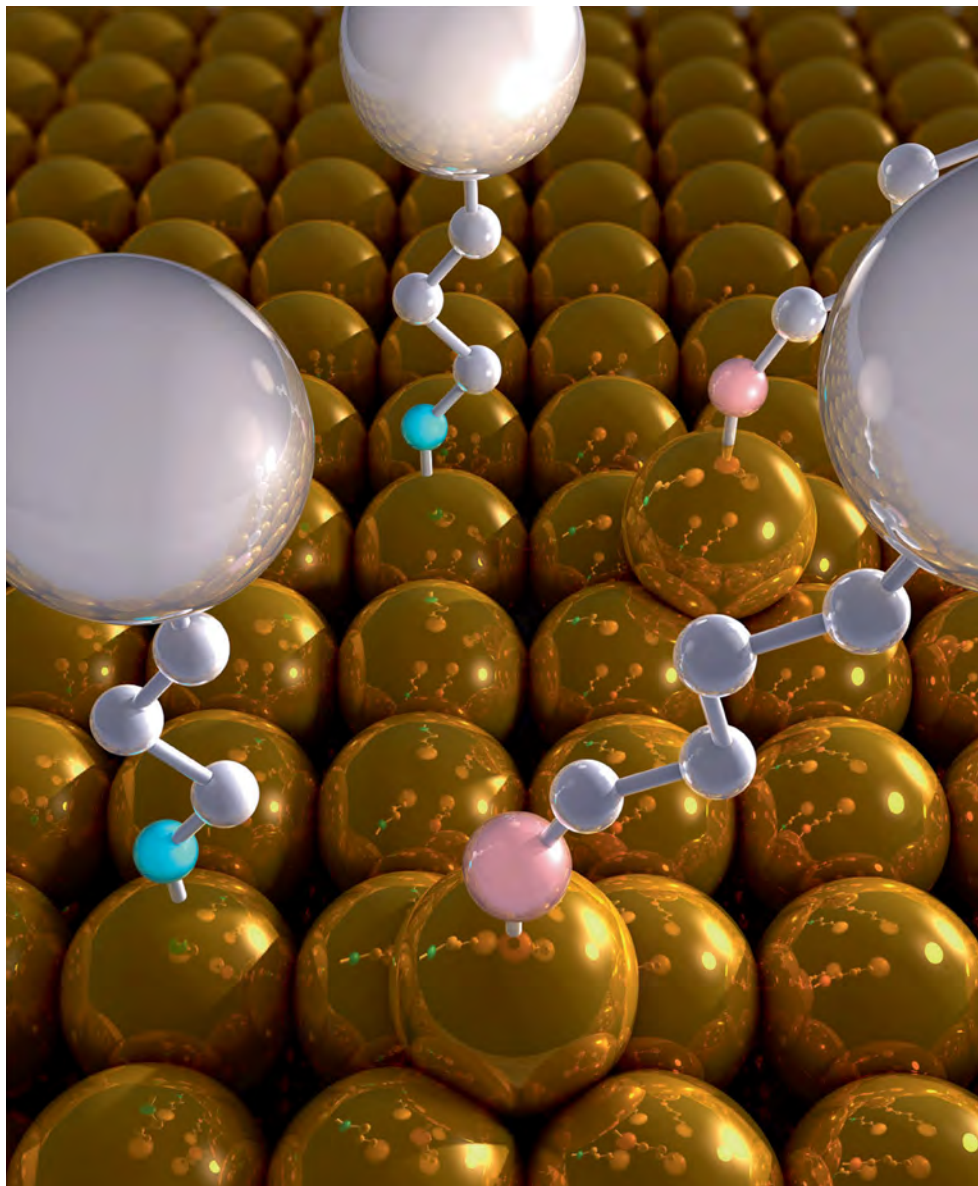
Oben Isabel Schuldes, Ying-Jen Chen und Frank Vollmer (von links) haben den plasmonischen Nanosensor so empfindlich gemacht, dass sie damit sogar Substanzen nachweisen können, die beim Zelltod entstehen. Wenn sie dafür den Laserstrahl in den Sensor koppeln, benötigen sie Fingerspitzengefühl.

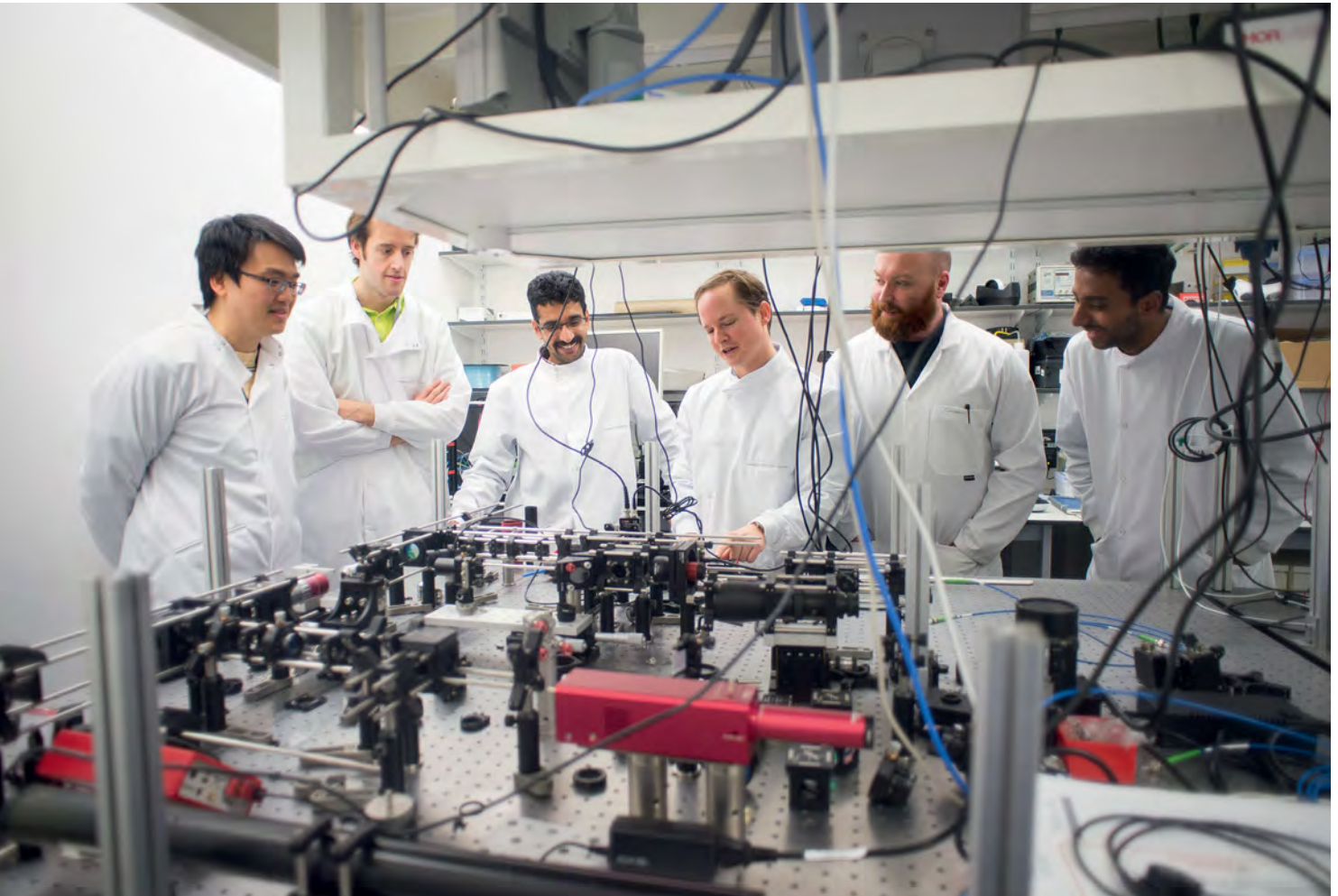
Unten Der Nanosensor eignet sich auch, um chemische Reaktionen zu untersuchen. Damit haben die Max-Planck-Forscher etwa herausgefunden, dass sich Moleküle mit Amino-gruppen (pink) an hervorstehende Goldatome auf der Oberfläche des Nanodrähtchens heften. Moleküle mit Thiolgruppen (blau) dagegen binden an die Goldatome, die in die Oberfläche eingebettet sind.



Dank der Möglichkeit, Reaktionen wie beispielsweise die von Goldatomen und Quecksilberionen zu verfolgen, eignet sich der Nanosensor außerdem als ein Werkzeug für Chemiker, erläutert der Biophysiker. Denn damit ließen sich Reaktionsbedingungen testen und optimieren, sprich: Reaktionen ließen sich in gewissem Rahmen *steuern*. Die Erlanger demonstrierten auch, wie. Indem sie die Lichtintensität im gebündelten Lichtfleck erhöhten, erreichten die Elektronen in der Goldspitze besonders hohe Energie. Das ermöglicht eine besonders feste Art der chemischen Bindung, im Fachjargon kovalent genannt. Die Forscher schufen auf diese Weise ein Amalgam zwischen Gold und Quecksilber, gleichsam indem sie den Lichtdimmer aufdrehten.

Wie detailgenau sich mit der Erlanger Methode Mechanismen von chemischen Reaktionen beobachten lassen, zeigten die Forscher in einem Experiment mit zwei Arten von Molekülen. Die eine Art koppelte über eine sogenannte Amino-Gruppe an das Gold, die andere über eine sogenannte Thiol-Gruppe. „Es stellte sich heraus, dass die beiden Gruppen in zwei verschiedenen Mechanismen mit der Goldoberfläche reagieren“, erklärt Vollmer. Während sich die Amine nur mit aus der Oberfläche hervorstehenden Goldatomen verbinden, heften sich die Thiole nur





Ein Sensor mit vielen Sinnen: An der Universität Exeter haben Hsin-Yu Wu, Serge Vincent, Jolly Xavier, Frank Vollmer, Tom Constant und Sivaraman Subramanian (von links) eine Anlage aufgebaut, in der sie verschiedene Ansätze kombinieren: den Effekt der optischen Flüstergalerie in einem Glaskügelchen, die plasmonische Bündelung des Lichts, welches in dem Kügelchen zirkuliert, sowie mikroskopische und spektroskopische Methoden. So wollen die Forscher die Bewegung von Biomolekülen möglichst detailliert analysieren.

an Atome, die voll in die Oberfläche eingebettet sind.

Der Nanosensor, den Vollmers Team entwickelt hat, zeichnet sich aber nicht nur durch seine hohe Empfindlichkeit aus. Als weitere Vorteile hebt der Forscher hervor, dass auch Nichtphysiker sie ohne besonders teure Spezialausrüstung einsetzen könnten. Zudem funktioniert sie auch in wässriger Umgebung. Biologen oder Mediziner erhalten so gewissermaßen ein Auge, das sie mitten im mikrobiologischen Leben platzieren können.

Vollmers Doktorand Ying-Jen Chen etwa beobachtet auf diese Weise den Totenkampf von Zellen. Obwohl dieser Apoptose genannte Prozess im Zellinneren stattfindet, gelang es Chen, ihn von außerhalb der Zelle im Blick zu behalten, mithin ohne den Prozess zu beeinflussen. Per Mikrokugel-Methode detektierte Chen einen Marker, welcher den Zelltod anzeigt: das Protein Cyto-

chrom c. Zu diesem Zweck hatte Chen den Sensor mit einem Antikörper beschichtet, der ausschließlich das Cytochrom c an sich bindet.

CHIPS FÜR SCHNELLE TESTS VON KREBSMEDIKAMENTEN

Gleichzeitig versucht Chen, das Erlanger Mikrokugel-Verfahren auf Chipgröße zu schrumpfen. In Kunststoffplättchen, kaum größer als ein Fingernagel, werden einzelne Zellen in winzigen Kanälen festgehalten. Durch die Kanäle strömt dann ein Toxin, sodass die Zellen die Apoptose einleiten. Das freigesetzte Cytochrom c wird dann ausgespült und zum Sensor geleitet. Dessen Messaufbau nimmt im Moment noch einen großen Teil eines Labortisches ein. Das Ziel sei aber, auch die Messtechnik auf einen Chip zu bringen.

„Mit den Chips könnte man zum Beispiel Krebsmedikamente deutlich

Gravitationswellen entdeckt!

Gravitationswellen sind real – jene Krümmungen in der Raumzeit, die Albert Einstein vorhergesagt hatte. Die Stiftung hat Karsten Danzmann am Max-Planck-Institut für Gravitationsphysik unterstützt – er hat die extrem empfindlichen Detektoren mitentwickelt, die für diese bahnbrechende Entdeckung nötig waren.



schneller testen, als das heute normalerweise möglich ist“, sagt Chen. Viele dieser Arzneien lösen die Apoptose von Krebszellen aus, um den Tumor zu beseitigen. „Unsere Methode eignet sich für die Anwendung als Organ-on-a-Chip“, ergänzt Vollmer. Damit sind Chips gemeint, die ganze Organe simulieren, indem sie Zellkulturen mit komplexen Mikrokanälen oder Mechanismen verbinden.

Inzwischen ist Vollmer an einem Punkt seiner Forscherkarriere angekommen, an dem er sich nach dem Ausflug in die Physik wieder mehr der Biologie zuwenden kann. Den plasmonischen Nanosensor will er nun in einem Umfeld von Biologen und Medizinern einsetzen, nämlich am Living Systems Institute der Universität Exeter. „Das ist

der ideale Platz dafür“, sagt er. Dort will Vollmer etwa krankhaft verformte Proteine untersuchen. Deren Defekte lassen sich sichtbar machen, wenn die Biomoleküle mit Licht in Schwingungen versetzt werden.

Frank Vollmer will den Nanosensor aber auch noch weiterentwickeln – zu einem Laserscanner für einzelne Moleküle. Mithilfe mehrerer fokussierter Lichtflecken sollte es möglich sein, Moleküle Atom für Atom abzutasten und aus den Daten ein atomgenaues 3-D-Bild zu rekonstruieren, und zwar mit mehreren Millionen Bildern pro Sekunde. „Damit könnte man die Nanotechnologie des Lebens schließlich visualisieren“, sagt Vollmer. Dann könnte es bald heißen: Film ab für Biomachines in Aktion. ◀

AUF DEN PUNKT GEBRACHT

- **Max-Planck-Forscher um Frank Vollmer** haben einen plasmonischen Nanosensor entwickelt, der es erstmals ermöglicht, Enzyme und andere Biomoleküle in Aktion zu beobachten und dabei auch die Bewegungen von deren Teilen abzubilden.
- Der Nanosensor besteht aus einem Glaskügelchen mit einem darauf befestigten Nanodraht aus Gold. Er nutzt zum einen den Effekt einer optischen Flüstergalerie, weil Licht einer festgelegten Wellenlänge in dem Kügelchen Zehntausende Male umläuft. Zum anderen bündelt er das Licht mithilfe von Plasmonen auf dem Nanodraht auf wenige Nanometer. Bindet ein Biomolekül oder ein anderes Nanoteilchen an den Golddraht, ändert sich die Wellenlänge des im Glaskügelchen umlaufenden Lichts ebenso wie bei Bewegungen der gebundenen Partikel.
- Mit dem Sensor haben die Forscher Bewegung von DNA-Polymerase, den Prozess des Zelltods und Reaktionen von Quecksilberionen sowie organischen Molekülen mit Goldatomen des Nanodrähtchens verfolgt.

GLOSSAR

DNA-Polymerase: Das Enzym erstellt bei der Zellteilung eine Kopie der DNA.

Plasmon: Schwingungen der Elektronenwolke eines Metalls können elektrische Wellen erzeugen. Diese Plasmonen lassen sich mit Licht anregen.

STED-Mikroskopie: In der Fluoreszenzmikroskopie werden fluoreszierende Marker an einem Nanoobjekt mit einem fokussierten Laser angeregt. Der Beugungsgrenze zufolge ist es nicht möglich, den Lichtfleck stärker zu bündeln als auf die halbe Wellenlänge des Lichts, also etwa 200 Nanometer. Durch kontrollierte Auslöschung eines Teils der Emission unterläuft ein STED-(Stimulated Emission Depletion-)Mikroskop diese Grenze.

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

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



MAX PLANCK FÖRDERSTIFTUNG
FOUNDATION

www.maxplanckfoundation.org

Bevor Henrik Hartmann anfing,
an Bäumen zu forschen,
lebte er eine Weile in einem
Wald in Kanada.

Im Wald verwurzelt

Manchmal dauert es etwas, bis ein Mensch seinen Beruf findet. **Henrik Hartmann** etwa ging erst in einem Alter an die Uni, in dem andere schon promoviert sind. Heute leitet der Forstwissenschaftler eine Forschungsgruppe am **Max-Planck-Institut für Biogeochemie** in Jena. Und vor seinem Studium hat er nicht weniger spannende Dinge erlebt.

TEXT **PETER HERGERSBERG**

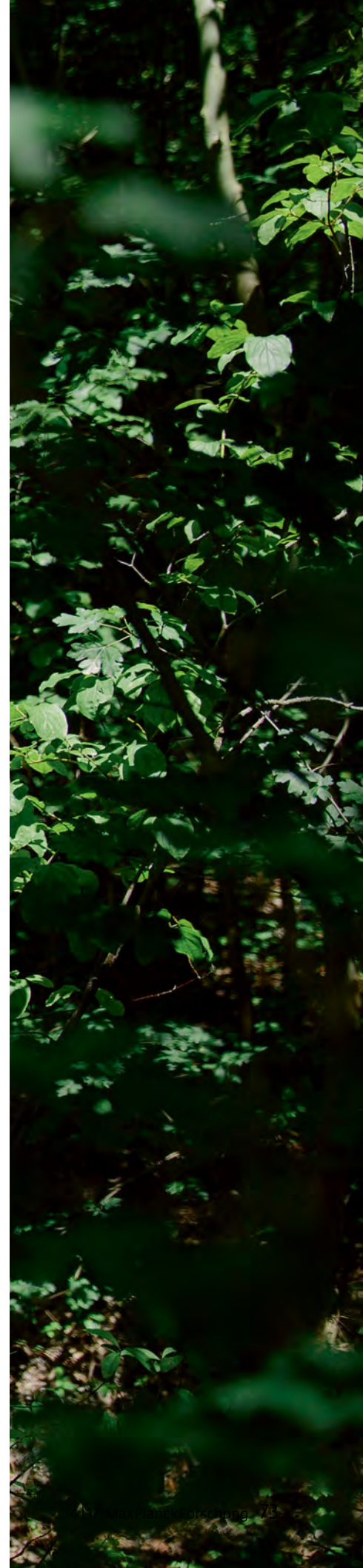
Henrik Hartmanns wissenschaftliche Neugier hatte kaum eine Wahl. Als sie sich allmählich durchsetzte und ein Ziel suchte, lebte er in einem entlegenen Haus im kanadischen Wald, besaß selbst 45 Hektar davon, machte sein eigenes Holz und arbeitete in der Forstwirtschaft. „Das Leben war dort sehr vom Wald bestimmt“, sagt er. „Und ich bin da auch oft genug durchgestolpert.“ So fing er an, sich zu fragen, warum ihm in seinem Forst in einer Senke nur Koniferen begegneten, es ein Stückchen weiter jedoch nur Birken gab und dann auf einmal Buchen dastanden.

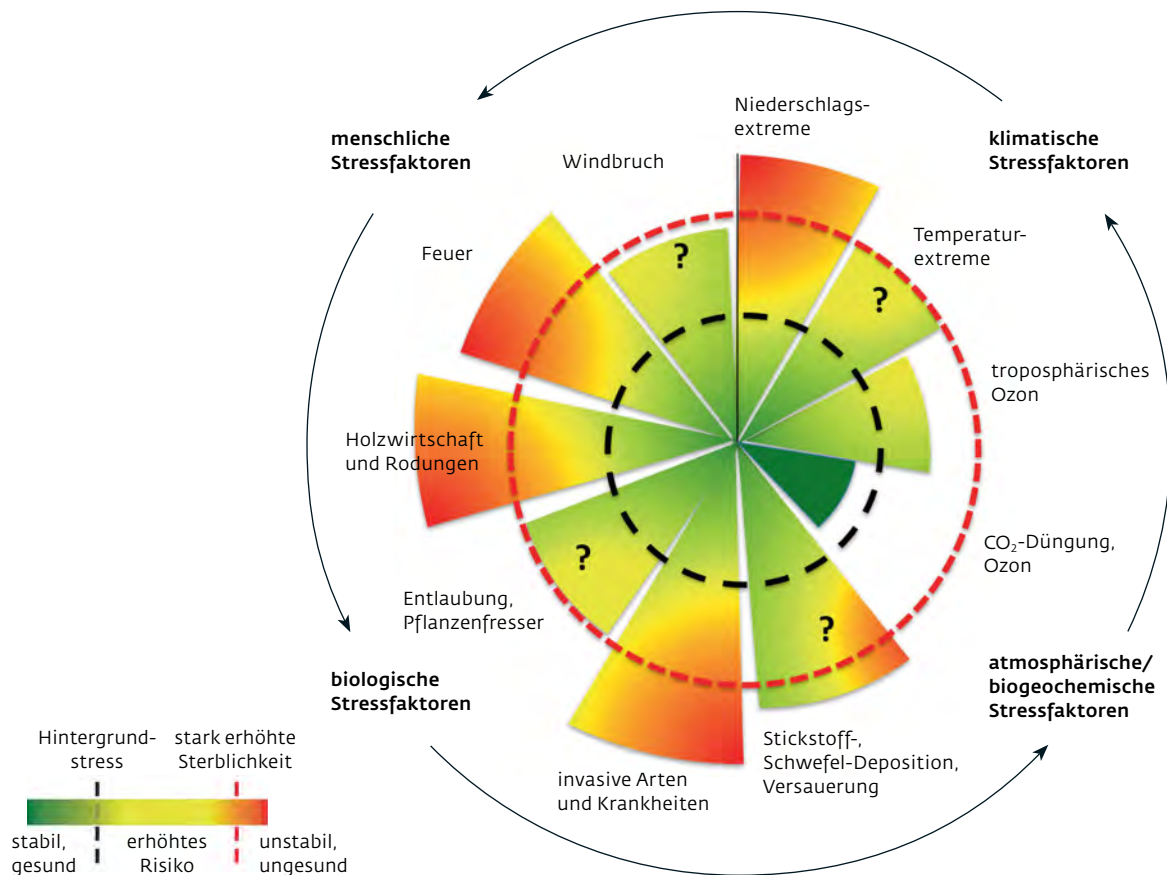
Hartmann, sportliche Statur, das wenige Haar kurz geschnitten, schmaler Kinnbart, links ein Ohrring, hat einen energischen Schritt und einen zupackenden Händedruck – ein Typ, dem man sofort abnimmt, dass er mit einem selbst gemachten Geschirr zwei Meter lange Baumstämme aus dem Wald zu seinem Haus gezerrt hat. Heute leitet er am Max-Planck-Institut für Biogeochemie eine Forschungsgruppe

und lebt mit seiner kanadischen Frau, die ebenfalls an dem Institut arbeitet, und seinen drei Kindern in Jena. Er erforscht, warum Bäume sterben, wenn ihnen Wasser oder Nährstoffe fehlen, und wie die Pflanzen knappe Ressourcen einsetzen.

Um den Wasserhaushalt der Bäume geht es auch bei einem mehrtägigen Seminar in einer Freisinger Außenstelle der TU München – eine Mischung aus Praktikum und Zeltlager. Biologiestudenten lernen hier, physiologische Vorgänge in Bäumen zu messen, etwa den Wassertransport. „Warum ist es wichtig, solche Prozesse am einzelnen Baum zu untersuchen?“, fragt Hartmann in die Runde. „Man könnte mit einem hohen Messturm auch den Stoffaustausch des ganzen Ökosystems analysieren. Wäre das aus globaler Sicht nicht wichtiger?“

Mit etwas Mühe puzzeln die Studenten die Antwort zusammen: Die Messungen an Individuen verraten, wie verschiedene Arten mit Ressourcen umgehen und warum manche mit veränderten Umweltbedingungen besser klarkommen als andere. Da die Arten unter-





schiedliche Funktionen im Ökosystem übernehmen, geben diese Erkenntnisse Aufschluss, wie ein Ökosystem etwa auf Dürren reagiert, die durch den Klimawandel verstärkt auftreten dürften. Aus diesem Grund hat Hartmann die Ökophysiologie von Bäumen zu seinem Thema gemacht.

WIRD ES WÄLDER IN 100 JAHREN NOCH GEBEN?

Er weiß aber auch, dass der Blick der Ökophysiologen nicht reicht, um belastbare Aussagen etwa über klimabedingte globale Veränderungen in Wäldern zu machen. Deshalb hat er die Initiative ergriffen und die Forscher seiner Zunft bereits zweimal in Workshops mit Vertretern anderer Disziplinen zusammengebracht, die sich mit der Sterblichkeit von Bäumen beschäftigen, darauf bisher aber nur durch ihren Tunnel blickten: Forscher, die den Waldzustand mit Satelliten analysieren; solche, die im Wald Bäume inventarisieren und deren Zustand begutachten; und Modellierer, die Erkenntnisse ihrer Kollegen in Computerprogrammen umsetzen,

um das Schicksal von Wäldern in einer wärmer werdenden Welt zu prognostizieren. „Wir wollen auch der Politik sagen können, ob es die Wälder, von denen wir abhängig sind, in 100 Jahren noch geben wird“, erläutert der Baum- und Waldforscher.

Dass Henrik Hartmann einmal Kooperationen anstoßen würde, die seiner Disziplin neue Impulse geben, hat sich in seinem Leben nicht so früh abgezeichnet wie bei anderen Wissenschaftlern. Denn sein Weg in die Forschung verlief alles andere als geradlinig.

Immerhin hat er seiner Mutter schon früh angekündigt, er wolle Wissenschaftler werden und sich damit beschäftigen, „wie das Leben so funktioniert“. Da war er gerade mal drei Jahre alt. Ernsthaft angegangen ist er das Ziel aber erst in einem Alter, in dem andere bereits promoviert sind. „Ich war zwar schon immer sehr naturverbunden, bin als Kind viel durch den Wald gestreift“, sagt er. „Aber ich war kein Waldfreak, der schon mit sechs Jahren 200 Baumarten kannte.“

Wenn nicht zum Freak, so doch zum Waldexperten ist Hartmann in Ka-

nada geworden. Das Haus und den Wald in Auclair, einem kleinen Dorf ganz im Osten von Québec, besitzt seine Familie immer noch. Zur nächsten größeren Siedlung mit Geschäften für den alltäglichen Bedarf muss er von dort 25 Kilometer fahren.

Von der Zeit vor seinem Einstieg in die Wissenschaft erzählt Hartmann auf einer kleinen Wanderung zu einem Aussichtspunkt oberhalb des Jenaer Max-Planck-Campus. Nicht weit davon entfernt verläuft die Saalehorizontale, ein Rundweg, der an den Hängen des Saaletals eine weite Schleife um Jena beschreibt. Alljährlich findet dort ein 100-Kilometer-Marsch statt, an dem Henrik Hartmann mit Institutskollegen schon dreimal teilgenommen hat. Auch für einen guten Zweck: Mit jedem Kilometer sammelten die Max-Plancker Geld, um beispielsweise die Schulbildung eines talentierten Kindes aus nicht betuchter Familie zu fördern.

Für die Saalehorizontale reicht die Zeit heute nicht, aber immerhin für Hartmanns Geschichte. Aufgewachsen ist er nahe dem hessischen Dillenburg zwischen Westerwald und Rothaar-

Linke Seite Zahlreiche Faktoren setzen Bäume unter Stress. Innerhalb der schwarzen gestrichelten Linie kommen Bäume gut damit klar. Wenn ihr Einfluss aber die rote gestrichelte Linie überschreitet, erhöhen sie die Sterblichkeit von Bäumen deutlich. Die Wirkung einiger Stressfaktoren ist noch nicht geklärt.

Rechts Während seiner Doktorarbeit nahm Henrik Hartmann mit der Motorsäge Proben, heute macht er damit gern Holz in seinem Wald in Québec. In der Hütte (rechtes Bild) lebte er zwei Jahre lang ohne fließendes Wasser und Strom.



gebirge: „Landschaftlich eine sehr schöne Gegend, aber sehr ländlich.“ Von seiner Mutter schwärmt er, sie sei eine wunderbare Frau. „Sie hätte nur meinen Vater vielleicht stärker an die Kandare nehmen sollen – er war ein sehr schwieriger Mensch.“ Geprägt noch von der Zeit des Nationalsozialismus, vom Krieg und vom totalen Zusammenbruch am Ende, seien Eigenheim und Auto dessen Ideale gewesen. Glücklicherweise hätten die ihn aber nicht gemacht.

NACH DEM ABITUR ERST EINMAL ZWEI JAHRE BUNDESWEHR

„Mir fehlten die Modelle“, sagt Hartmann, wenn er erklärt, warum er nicht von Anfang an zielstrebig den Weg in die Wissenschaft verfolgt hat. Seine Lehrer etwa seien keine passionierten Pädagogen gewesen, die ihren Schülern Begeisterung für ein Thema vermitteln konnten. Einige brannten mehr für ihre Hobbys als für den Unterricht, andere standen noch so sehr unter dem Eindruck des Zweiten Weltkriegs, dass sie ihren Schülern immer wieder ihre Erinnerungen vortrugen.

„Viele schienen resigniert und ziemlich fehl am Platz“, sagt Hartmann.

Nach dem Abitur verpflichtete er sich erst einmal für zwei Jahre bei der Bundeswehr. „Ich habe schon immer nicht gern gemacht, was alle machen“, sagt er. Das galt auch für die Entscheidung Bundeswehr oder Zivildienst. „Meine Kumpel haben wirklich alle verweigert“, sagt er. „Da habe ich gedacht: Nee, so geht das nicht.“

Es war 1987, die Welt in Ost und West geteilt und der Kalte Krieg noch nicht beendet. „Da standen uns noch Millionen von geladenen Waffen gegenüber. Wenn es damals ein Gleichgewicht gab, dann nur, weil die anderen vor uns genauso viel Bammel hatten wie wir vor ihnen.“ Trotzdem war er froh, als die zwei Jahre rum waren: „Vor allem zum Ende hin habe ich oft am Montagmorgen schon auf den Freitag gehofft – es gab zu viel und oft unsinnige Routine.“

Anschließend der erste Versuch an der Uni: In Göttingen schrieb er sich für Biologie ein. Gleich in der Einführung machte der Tutor die Ansage, nur drei von den 125 Erstsemesterstudenten bekämen einen Job. Nicht gerade

ermutigend. Bald zog es Hartmann nach Berlin. Dort begann das, was er heute als Ausbruch aus der starren Gesellschaftsordnung betrachtet. Und er steht dazu: „Das gehört zu meiner Biografie, und es ist besser, so eine Findungsphase mit Anfang 20 zu haben als mit Ende 40, wenn vielleicht eine ganze Familie daran zerbricht.“

In Berlin lebte er gewissermaßen als Heinzelmännchen – so hieß die dortige Jobvermittlung für Studenten. „Da konnte man klasse Jobs bekommen.“ So hat er immer wieder ein paar Wochen gearbeitet, bis er genügend Geld zusammenhatte, um zu reisen oder auf Konzerte zu gehen: Punk, Punkrock und Crossover, aber auch Reggae waren seine Musik.

„Das habe ich eine Weile gemacht, bis die Sättigung erreicht war und ich dachte: Das kann's jetzt nicht sein“, sagt Hartmann. Anfang der 1990er-Jahre ergab sich dann eine Möglichkeit, mit Bekannten aus Göttingen nach Kanada zu gehen. Diese Verbindung sei allerdings schnell zerbröckelt. Hartmann reiste dann erst einmal durch die USA. Auf einer Zwischenstation in New York



Links Henrik Hartmanns Team erforscht, wo Bäume Zucker und andere Substanzen speichern. Zu diesem Zweck frieren die Forscher mit flüssigem Stickstoff in einem Isoliergefäß etwa Zweige ein, um sie zu zermahlen und zu analysieren, welche Mengen der fraglichen Stoffe sie enthalten.

Rechte Seite Henrik Hartmann und sein Doktorand David Herrera können in ihrem Labor genau regulieren, wie gut sie ihre Testbäume etwa mit Kohlendioxid versorgen. Zudem messen sie dort den Gasaustausch der Pflanzen. Immer wieder schneiden sie auch Triebe ab, um darin verschiedene Substanzen zu analysieren.

wurde ihm dann klar: Er will nicht zurück nach Deutschland. Damit er bleiben könnte, bot ihm seine damalige Freundin – eine Kanadierin, die er schon aus Deutschland kannte – an zu heiraten. „Das ging da schnell und unproblematisch“, so Hartmann. Die Immigration in Kanada dauerte dagegen zwei Jahre, in denen er von Gespartem und von Hausmeisterjobs lebte. „In der Zeit kristallisierte sich raus: Ich möchte irgendwo im Wald leben.“

Also hat er mit seiner damaligen Frau ein preiswertes Grundstück samt Holzhaus und Hütte gekauft, die in den 1930er-Jahren errichtet und seither kaum verändert worden waren. Mehr als zwei Jahre lebte der Aussteiger in der Hütte, ohne Strom, fließendes Wasser und Kanalisation. Das Wasser holte Hartmann vom Brunnen beim Haus am anderen Ende des Grundstücks. Im Winter halfen ihm dabei Schlittenhunden – trotzdem eine ziemliche Plackerei. Brot buk er selbst und fing dabei beim Getreidemahlen an. Im Winter musste er Unmengen an Schnee schippen. Außerdem gab es da noch die kleine Tochter, die das Paar inzwischen be-

kommen hatte. „Da braucht man keine Sinnfrage zu stellen, Sachen müssen einfach gemacht werden, Punkt“, sagt Hartmann. Aber es blieb auch für kaum etwas anderes Zeit – außer vielleicht für Treffen mit anderen Aussteigern in dem Landstrich.

EIN GESCHWOLLENES KNIE ALS GLÜCKLICHE FÜGUNG

„Dieses intuitive Leben mit sehr einfachen Mitteln ist gut – für eine Weile“, sagt er. Ihm wurde klar. „Ne, das kann’s jetzt nicht sein. Ich habe einen Hintergrund, zu dem auch Bildung gehört.“ Er fühlte sich irgendwann identitätslos: „Und wenn ich hinterher Holzfäller werde, bin ich halt Holzfäller. Aber dann weiß ich, was ich bin!“

Also fing er an zu arbeiten, nicht als Holzfäller, sondern bei einem Ausrüster für die Ernte von Ahornsirup. Der Beziehung zu seiner Frau tat das nicht gut, sie lebten sich auseinander. „Ich habe mir gesagt: Ich engagiere mich jetzt in meinem Job.“ Sie trennten sich, er zog aus der Hütte in das Holzhaus, in dem es immerhin Strom gab.

Auch im Job gab es einen Rückschlag, der sich später aber als glückliche Fügung erwies. Eines Morgens war Hartmanns Knie zur Größe eines Handballs geschwollen, er konnte erst einmal nicht arbeiten. Sein Chef beschäftigte ihn zwar nicht weiter, unterstützte ihn aber darin, eine Ausbildung zum Forstwart zu machen. Da stellte Henrik Hartmann dann mehr Fragen, als die Ausbilder beantworten konnten. Oftmals entgegneten sie ihm: „Wenn du das wissen willst, musst du an die Uni gehen, da erklären sie dir das.“

„Das fand ich schon lustig“, sagt Hartmann mit einem etwas bitteren Lachen, das viele seiner ironischen Bemerkungen begleitet. „Man würde ja erwarten, die setzen sich selbst hin und schauen nach. Aber so waren die nicht gestrickt.“ Er fand das unbefriedigend und folgte dem Rat, der vielleicht nicht einmal ernst gemeint war. Nach der Ausbildung studierte er an der Universität Moncton in Nouveau-Brunswick Forstwissenschaft.

Auch wenn er beruflich nun in die Spur fand, bezeichnet er diese Phase heute als die schrecklichste seines Le-



bens. Denn der Streit um das Sorgerecht für seine Tochter wurde richtig garstig. Henrik Hartmann wirkt immer noch sehr aufgebracht, wenn er davon berichtet. Ein Richter beendete die Auseinandersetzung schließlich mit den Worten, er habe keine Zeit, den Fall genau zu prüfen. Normalerweise gehe es Kindern bei den Müttern besser, also bekomme die Mutter das Sorgerecht. Da half auch nicht, dass er inzwischen seine heutige Frau kennengelernt und sie zusammen über ein Jahr lang das Sorgerecht für seine Tochter ausgeübt hatten. „Dem Gericht war es eher egal, dass ich zielstrebig meine Ausbildung verfolgte und dass meine Tochter viel lieber bei uns geblieben wäre. Denn trotz der Belastung durch das Studium war die Zeit bei uns auch für sie wertvoll.“ Hartmann empfand und empfindet das als tiefe Ungerechtigkeit.

Trotz der kraftraubenden Auseinandersetzung und der Enttäuschung über den Verlust des Sorgerechts zog er sein Studium durch und begann – mittlerweile an der Universität Québec – einen Masterstudiengang, an den er direkt seinen PhD anschloss. Das Thema seiner

Dissertation: Stressfaktoren und Sterblichkeit in Plenterwäldern des Zuckerahorns. In einem Plenterwald werden einzelne Bäume so entnommen, dass der Bestand immer unterschiedlich dicke Stämme enthält.

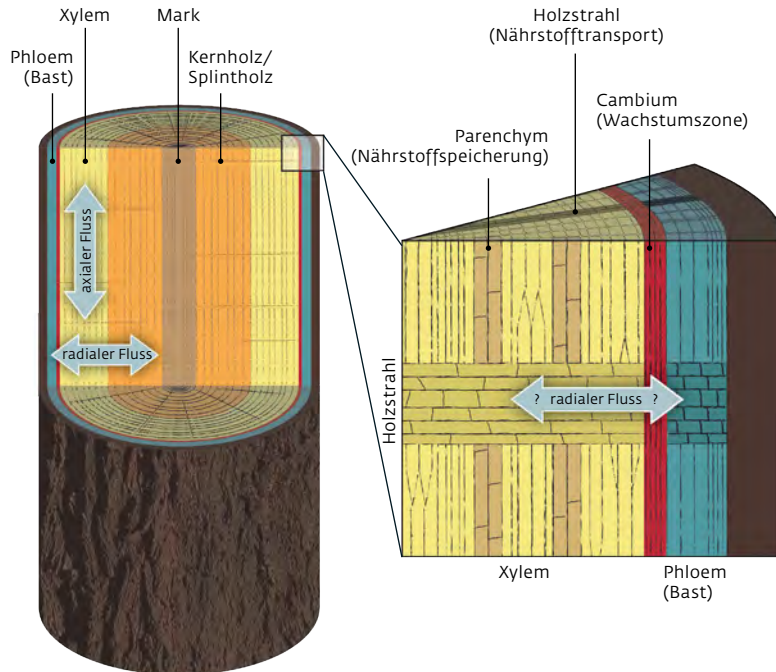
RINGELSPINNER BEEINFLUSSEN DIE BAUMVITALITÄT

Gleich zu Beginn der Doktorarbeit, am 9. Juni 2005, erlebte Hartmann seinen zweiten Geburtstag, wie er es nennt: Gemeinsam mit einer Bachelorstudentin inspizierte er die Flächen für sein Feldexperiment. Im Pickup-Truck fuhrten sie auf einem der Forstwege, auf denen dort viele Lastwagen fahren, und das oft auch ziemlich schnell. So kam ihnen in einer Kurve auf ihrer Seite ein Sattelschlepper entgegen. Einen frontalen Zusammenstoß konnte Hartmann gerade noch vermeiden, aber sein Auto knallte seitlich unter den Anhänger und wurde von dessen Hinterachse etwa 30 Meter zurückgeschleudert. Der Wagen sah anschließend nicht so aus, als könne da jemand lebend herauskommen. Seine Beifahrerin trug jedoch nur ein

paar Prellungen davon, er selbst brach sich lediglich einen Mittelknochen der Hand und zog sich ein paar Schnittwunden zu. „Das kann ich eigentlich immer noch nicht fassen“, sagt Hartmann.

Der Rest der Dissertation verlief ohne solche Zwischenfälle. Mit dendrochronologischen Methoden untersuchte er, ob der gesamte Baumbestand leidet, wenn einzelne Bäume gefällt werden. Er verglich also die aus den Baumringen ermittelten Wachstumsraten toter und überlebender Bäume und dokumentierte so, wann es Einbrüche in der Vitalität gab. Diese Ereignisse verglich er mit Archivdaten der Forstwirte zu natürlichen Störungen, etwa großflächigen Entlaubungen durch Insekten. „Einen negativen Effekt des Plenterschlags auf die Baumvitalität haben wir nicht festgestellt, aber die Ergebnisse deuteten klar auf den Einfluss von Epidemien durch Raupen des Ringelspinners.“ Die Schädlinge können einen Baum komplett entlauben, die Pflanze bildet dann nicht mehr den Zucker, den sie zum Leben braucht.

Aus der Doktorarbeit ergaben sich Fragen, die Henrik Hartmann weiter-



Links Wie Bäume mit Stoffwechselprodukten haushalten und wo sie diese für Notzeiten speichern, ist bislang noch weitgehend unbekannt. Klar ist: Im Sommer fließt Zucker über das Phloem, den Bast der Rinde, in axialer Richtung von den Blättern in die Wurzeln, im Frühjahr dann in umgekehrter Richtung. Forscher wollen aber herausfinden, inwieweit Substanzen auch radial transportiert und in lebenden Zellen im ansonsten toten Splintholz ein- und ausgelagert werden und wie dies gesteuert wird.

Rechte Seite Um den Stoffwechsel und damit auch den Kohlenstoffhaushalt der Bäume zu verstehen, fangen Henrik Hartmann und Susan E. Trumbore, Direktorin am Max-Planck-Institut für Biogeochemie, die Gase auf, die ein Baum durch die Rinde abgibt.

fürten. Denn Hunger muss nicht den Tod des Baums bedeuten. Wenn dieser Vorräte anzapfen kann, kommt er vielleicht durch die magere Zeit. Wie Bäume mit ihren Ressourcen umgehen, vor allem wenn diese knapp sind, interessierte ihn nun. Und an welcher Mangelerscheinung sie schlimmstenfalls zugrunde gehen. Das führte ihn 2009 ans Max-Planck-Institut für Biogeochemie, wo er 2006 während eines Praktikums Christian Wirth kennengelernt hatte. Wirth leitete an dem Institut damals eine Forschungsgruppe und bot Henrik Hartmann eine Stelle als Postdoc an. Der Forstwissenschaftler wollte mit isotonenmarkiertem Kohlendioxid den Zuckerhaushalt der Pflanzen in Dürrezeiten untersuchen.

„Als ich nach 15 Jahren zurück nach Deutschland kam, war ich überrascht, wie sich das Land verändert hatte“, sagt Hartmann. Er führt das vor allem auf die Fußball-WM 2006 zurück. „Es herrschte hier auf einmal eine viel weltoffenere Stimmung. Man merkte, die Leute wollten die anderen Kulturen auch hier haben.“ Auch deshalb blieb er gern in Deutschland und brachte seine Frau und seine inzwischen drei Kinder gleich mit.

Erst einmal verlief seine Forschung jedoch nicht so wie erhofft. Denn wo-

chenlang konnte Hartmann seine Untersuchungen nicht angehen. Er überbrückte die Zeit, indem er einen Review schrieb. Darin fasste er den Forschungsstand zu der Frage zusammen, ob Bäume in Dürren, die mit dem Klimawandel wahrscheinlich zunehmen werden, eher von Durst oder von Hunger bedroht werden. Auf den Artikel sprechen ihn heute noch Fachkollegen an. Damals wunderten sie sich, dass sie den Autor nicht kannten.

WER WISSEN WILL, WIE BÄUME STERBEN, MUSS SIE TÖTEN

Der Artikel beginnt mit einem Lob der Bäume, aus dem spricht, wie fasziniert Hartmann von diesen Lebewesen ist. Trotzdem tötet er Bäume immer wieder – „ich gehörte ja zur Treekiller Community“, sagt er. „Denn wer herausfinden will, wie Bäume sterben, muss sie eben auch töten.“

In seinen ersten Experimenten am Jenaer Max-Planck-Institut etwa ließ er Fichten verdursten und fand so heraus, dass sie zugrunde gehen, weil die Wurzeln verhungern. Denn ohne Wasser versiegt der Nachschub an Kohlenhydraten aus den Nadeln. Um zu verstehen, wie Bäume in Krisenzeiten mit ihren Ressourcen haushalten, hilft das

Wissen, wie sie damit umgehen, wenn kein Mangel herrscht. Aus diesem Grund untersucht Henrik Hartmann heute, was Bäume normalerweise mit für sie lebenswichtigen Substanzen machen, nicht nur mit Zucker, sondern zum Beispiel auch mit den Abwehrstoffen gegen Schädlinge.

Als Wissenschaftler hat er sichtlich seine Identität gefunden, ein Selbstläufer ist das jedoch nicht: „Dem Berufsbild nach ist Forscher mein Traumjob, die Bedingungen des Wissenschaftsbetriebs sind aber manchmal schwierig.“ Um sich und seine Forschung bekannt zu machen, besucht Hartmann derzeit viele Konferenzen. „In meiner Situation kann ich mir manchmal einfach nicht erlauben, Nein zu sagen“, erklärt er. „Ich will mir in drei Jahren nicht vorwerfen müssen: Wärs du doch damals bloß da hingefahren und hättest den Kontakt geknüpft, dann hättest du vielleicht einen Job bekommen.“

An den vielen Reisen stört ihn nicht nur, dass in der Zwischenzeit seine Arbeit am Institut liegen bleibt: „Bei mir reihen sich die Papers, die alle darauf warten, dass ich daran arbeite.“ Er ist sich auch bewusst, was er seiner Familie mit den vielen Reisen zumutet: „Ich habe manchmal ein schlechtes Gewissen, wenn ich meine liebe



Foto: Sven Doering

Frau schon wieder mit den Arbeiten zu Hause allein lasse.“ Das sei auch eine Sache der Fairness.

Und dann ist da noch der Klimawandel, zu dem er mit den Flügen beiträgt. Kürzlich etwa von Frankfurt nach San Francisco. Genau für diesen Flug haben Wissenschaftler des Max-Planck-Instituts für Meteorologie beispielhaft ausgerechnet, wie viel arktisches Meer eis dadurch verschwindet. „Die Arbeit erschien, eine Woche bevor ich in diesen Flieger gestiegen bin“, erzählt er. „Da dachte ich: na toll.“

Auch wenn er vor allem Grundlagenforschung betreibt, möchte er mit seiner Arbeit dazu beitragen, Forst- und Landwirtschaft nachhaltiger zu gestalten und die Folgen des Klimawandels zu mildern. „Ich finde, wir als Wissenschaftler sind in der Pflicht, der Gesellschaft etwas zurückzugeben, das ist unterm Strich sicher auch wichtiger als ein Nature Paper.“ Deshalb will er gemeinsam mit Susan Trumbore, der Direktorin seiner Abteilung, und Jonathan Gershenzon, Direktor am benachbarten Max-Planck-Institut für chemische Ökologie, in Brasilien Wissenschaftler, Politiker und Plantagenbesitzer an einen Tisch bringen. „Da wird das Soja angebaut, mit dem wir unsere Schweine füttern“, sagt er. „Das kann man den Leuten nicht wegnehmen, die sind darauf angewiesen. Aber wir können versuchen, es so verträglich wie möglich zu gestalten.“

Derzeit beschäftigt ihn aber vor allem, wie es weitergehen soll, wenn seine Stelle als Forschungsgruppenleiter ausläuft. Immerhin hat Hartmann 2017 seine Habilitation veröffentlicht. Darin fasst er seine Erkenntnisse zusammen, welche Substanzen Pflanzen bevorzugt produzieren, wenn Ressourcen knapp sind. Sein Fazit packt er gleich in den Titel der Arbeit: *You can't always get what you want*. Inzwischen wurde er auch schon zu Vorstellungsgesprächen eingeladen. „Die Aussichten sind gerade ganz gut“, sagt Henrik Hartmann. „Das wäre ein Ding, wenn ich nun doch noch Professor werde.“ ◀

Atome spalten **im Bierkeller**

Vor 100 Jahren nahm das **Kaiser-Wilhelm-Institut für Physik** in Berlin seine Arbeit auf. Einer der späteren Direktoren war Werner Heisenberg, der Begründer der Quantenmechanik. Im Februar 1945 kamen er und seine Kollegen im württembergischen Haigerloch zusammen. In einem geheimen Felsenkeller machten sich die Forscher an einen gewagten Versuch.

TEXT **ELKE MAIER**

Berlin, 23. Februar 1945: In der zerbombten Hauptstadt setzt sich ein Lastwagenkonvoi in Bewegung. Mit an Bord befinden sich je anderthalb Tonnen Uranwürfel und schweres Wasser sowie zehn Tonnen Grafitblöcke. Ziel ist die Kleinstadt Haigerloch in Württemberg. Fernab vom Berliner Bombenhagel wollen Wissenschaftler dort eine nukleare Kettenreaktion starten. Leiter des Projekts ist Werner Heisenberg, seit zweieinhalb Jahren Direktor am Kaiser-Wilhelm-Institut (KWI) für Physik.

Das KWI für Physik war während des Ersten Weltkriegs am 1. Oktober 1917 in Berlin eröffnet worden. Ursprünglich sollte es sich dem jungen, aufstrebenden Gebiet der Quantenphysik widmen. Das Forschungsfeld war damals noch eine Ansammlung von Ergebnissen und Hypothesen, die mit Plancks Energiequantum zusammenhängen, aber im Detail nicht verstanden waren. Um voranzukommen, wollte man eine Ideenfabrik schaffen und die besten Köpfe zusammenbringen. Als Direktor schien dafür niemand besser geeignet als Albert Einstein.

Das Konzept der neuen Forschungsstätte war revolutionär, denn anders als sonst waren dort keine Experimente geplant. Stattdessen schlug ein sechsköpfiges Direktorium Projekte vor, die dann von einem Kuratorium geprüft und mit Mitteln der Kaiser-Wilhelm-Gesellschaft an Fremdinstituten umgesetzt werden sollten. Weil daher keine Laborräume notwendig waren, sparte man sich kurzerhand ein eigenes Gebäude. Das neue Institut schlug stattdessen sein erstes Quartier in der Haberlandstraße 5 in Schöneberg auf – Einsteins Privatadresse.

Die Idee ging anfangs auf, und eine Reihe von Projekten wurde erfolgreich abgeschlossen. Einsteins Begeisterung über seine neue Rolle hielt sich jedoch in Grenzen: Zum einen konnte er die Bürokratie nicht ausstehen, die sein Posten mit sich brachte; zum anderen war es nicht seine Sache, Forscher zusammenzubringen und Projekte anzukurbeln. Einstein war und blieb ein genialer Einzelkämpfer.

Im Juli 1922 zog er die Konsequenzen und übergab die Institutsleitung kommissarisch an seinen Physikerkollegen Max von Laue. Er selbst wollte für unbestimmte Zeit verreisen. Als er im



Wissenschaftler mit Geistesblitz: Während eines Kuraufenthalts auf Helgoland schuf Werner Heisenberg als 23-jähriger die Grundlagen der Quantenmechanik.

darauffolgenden Jahr als Nobelpreisträger nach Berlin zurückkehrte, reichte er das Zepter vollends an von Laue weiter. Offiziell aber wurde Einstein noch bis 1932 als Direktor geführt.

Max von Laue wollte das Institut von Grund auf neu organisieren, um es auch in Zukunft konkurrenzfähig zu machen. Nun sollte es endlich auch ein eigenes Gebäude geben. Das Geld dafür stellte die amerikanische Rockefeller Foundation bereit. Dann aber kamen Anfang 1933 die Nazis an die Macht und brachten eine jähe Zäsur. Führende Wissenschaftler – darunter Albert Einstein – emigrierten. Von Laue hatte unter diesen Umständen wohl keine Lust mehr, das Institut zu leiten. Der Direktorenposten wurde schließlich dem zuletzt in Leipzig wirkenden Niederländer Peter Debye übertragen.

Die offizielle Einweihung des neuen Institutsgebäudes in Berlin-Dahlem fand am 30. Mai 1938 statt. „Max-Planck-Institut“ war über dem Eingang zu lesen. Mit dieser Namenswahl wollten vor allem die Berliner Wissenschaftler dem scheidenden Präsidenten der Kaiser-Wilhelm-Gesellschaft ein Denkmal setzen. Den Behörden gefiel das nicht, Planck war schließlich Nazigegner. Trotzdem blieb der Name stehen – wie wäre das sonst bei der Rockefeller Foundation angekommen? Das KWI für Physik war damit das erste Max-Planck-Institut überhaupt – zehn Jahre bevor die Max-Planck-Gesellschaft gegründet wurde.

Am 1. September 1939 begann der Zweite Weltkrieg, und im Jahr darauf wurde das Institut dem Heereswaffenamt unterstellt. Ein inoffiziell als „Uranverein“ bekanntes Projekt sollte dort die Möglichkeiten der Kernspaltung ausloten, die Otto Hahn und Fritz Straßmann im Dezember 1938 am KWI für Chemie entdeckt hatten. Direktor Debye wurde aufgefordert, die deutsche Staatsbürgerschaft anzunehmen, weil er als Ausländer kein Kriegsprojekt leiten durfte. Er lehnte ab und bekam Hausverbot. Führender Wissenschaftler des Uranvereins wurde stattdessen Werner Heisenberg.

Heisenberg, Jahrgang 1901, hatte eine glänzende Karriere hinter sich. Mit einem herausragenden Abitur war er Stipendiat der Höchstbegabtenstiftung „Maximilianeum“ geworden und hatte

sein Studium nach nur drei Jahren abgeschlossen. Mit 22 Jahren schrieb er seine Doktorarbeit, mit 26 wurde er jüngster Professor Deutschlands – und das, obwohl er fast durch die Doktorprüfung gefallen wäre. Nicht nur die Frage nach dem Auflösungsvermögen des Mikroskops hatte ihn blank erwischt.

Dafür kam ihm im Frühling 1925 eine Idee, die diese Panne mehr als wettmachte: Als 23-Jähriger war er, von Heuschnupfen geplagt, zur Kur nach Helgoland gereist. Dort hatte er eines Nachts einen Geistesblitz, der zur Entwicklung der Quantenmechanik führte und ihm den Physik-Nobelpreis des Jahres 1932 bescherte.

Im Zweiten Weltkrieg beschäftigten sich Heisenberg und seine Kollegen also mit der Kernspaltung. Mit von der Partie waren so berühmte Physiker wie Walther Bothe, Hans Geiger, Otto Hahn oder Carl Friedrich von Weizsäcker. Wie man inzwischen wusste, lassen sich Urankerne unter bestimmten Bedingungen durch Neutronenbeschuss spalten und setzen dabei nicht nur Energie frei, sondern auch weitere Neutronen, die wiederum Urankerne spalten. Den Physikern schwebte daher eine sich selbst erhaltende Kettenreaktion vor. Damit ließe sich ein „Uranbrenner“ zur Energiegewinnung realisieren – oder eine Bombe.

Im Laufe der Arbeiten kristallisierte sich jedoch heraus, dass eine Atombombe so schnell nicht in Sicht war. Einige Historiker gehen davon aus, dass Heisenberg das Projekt verschleppte, um

TAGESSPIEGEL VOM 14. April 1985



Im hohenzollerisch-preußischen Haigerloch entstand in einer Umgebung, die eine Mischung aus Freischütz, Faust und James Bond war, unter strengster Geheimhaltung Europas modernste Kraftanlage: ein Atommeiler aus Uranwürfeln mit schwerem Wasser und einem Graphitmantel.

den Nazis keine Atomwaffen an die Hand zu geben. Andere glauben, dass er und seine Kollegen ganz einfach scheiterten. Das Heereswaffenamt jedenfalls verlor irgendwann das Interesse und gab das KWI für Physik im Jahr 1942 an die Kaiser-Wilhelm-Gesellschaft zurück. Die Uranexperimente wurden weiter vorangetrieben, von nun an in Richtung „Uranmaschine“.

Der bis dahin größte Versuch B8 war für Januar 1945 geplant. Im Berliner Bunker hatte man alles vorbereitet: Schweres Wasser war aus Norwegen eingetroffen, Uranerz aus Böhmen. Weil aber die russischen Truppen immer näher rückten, wurde den Wissenschaftlern das Pflaster schließlich zu heiß. Wegen der andauernden Luftangriffe waren Teile des Instituts bereits ins württembergische Hechingen umgesiedelt. Nun sollte auch der Uranversuch ausquartiert werden.

Etwa 15 Kilometer von Hechingen entfernt liegt das idyllische Städtchen Haigerloch. Den Ortskern überragt ein gewaltiger Felsen, auf dem die Schlosskirche steht. Am Fuße des Felsens, direkt unter der Kirche, befindet sich ein Keller, in dem damals der „Schwanenwirt“ sein Bier lagerte – der perfekte Ort für die Atomforscher.



Am Ort des Geschehens: Im Bierkeller des ehemaligen „Schwanenwirts“ in Haigerloch ist heute eine Nachbildung des legendären Versuchs B8 zu sehen.

Bald war mit dem Wirt ein Mietvertrag über monatlich 100 Reichsmark geschlossen. Die Vorräte wurden weggeschafft, ein Loch in den Boden gesprengt und die Anlage aufgebaut. Ende Februar war es so weit: Das Material aus Berlin war eingetroffen. Das Experiment konnte beginnen.

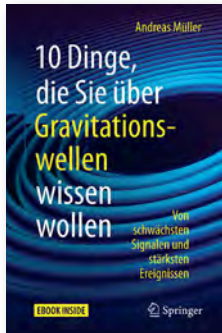
Der Reaktor bestand – stark vereinfacht – aus 664 Uranwürfeln mit einer Kantenlänge von jeweils fünf Zentimetern, die an Ketten im Deckel befestigt waren. Die Würfel tauchten in einen grafitummantelten Magnesiumkessel ein, der in eine Betongrube eingelassen war und mit schwerem Wasser befüllt wurde. Über ein Rohr im Deckel ließ sich die Neutronenquelle einbringen. Regelmäßig registrierten die Forscher die Neutronenvermehrung. Bei einem starken Anstieg würde der Reaktor „kritisch“, und das Ziel – eine sich selbst erhaltende Kettenreaktion – wäre erreicht. In diesem Fall wollte man das Experiment stoppen.

Doch so weit kam es nicht: Die Neutronen vermehrten sich, allerdings ohne den kritischen Punkt zu erreichen. Werner Heisenberg errechnete, dass dafür etwa 50 Prozent mehr Uran und schweres Wasser nötig wären. Doch Nachschub war kriegsbedingt nicht in Sicht.

Stattdessen traf am 23. April 1945 eine Spezialeinheit der Amerikaner in Haigerloch ein und entdeckte den Keller. Die Spuren waren inzwischen notdürftig beseitigt, die Uranwürfel in einem Acker in der Nähe des Schlosses vergraben. Die Wissenschaftler wurden verhaftet. Heisenberg, der auf dem Fahrrad geflohen war, griffen die Alliierten bei seiner Familie am oberbayerischen Walchensee auf. Die folgenden Monate verbrachten er und seine Kollegen interniert im englischen Farm Hall.

Die Amerikaner hatten den Befehl, den Felsenkeller zu sprengen. Da aber ließ der couragierte Stadtpfarrer nicht zu. Er zeigte dem befehlshabenden Offizier die darüberliegende, fast 350 Jahre alte Kirche mit all ihren Kunstschätzen. Die Amerikaner begnügten sich daraufhin mit einer kleineren Sprengung, gewissermaßen pro forma. Die Kirche blieb intakt. Im Haigerlocher Felsenkeller erinnert heute ein Museum an das einstige Herzstück der deutschen Atomforschung.

Das KWI für Physik wurde nach dem Krieg in Göttingen wieder aufgebaut. Im Jahr 1948 wurde es – diesmal ganz offiziell – zum Max-Planck-Institut. Zehn Jahre später zog die Forschungsstätte nach München um. Werner Heisenberg blieb Direktor, insgesamt fast 30 Jahre lang. Er starb 1976 in München.



Das Zittern der Raumzeit

Der 14. September 2015 ist in die Wissenschaftsgeschichte eingegangen. An jenem Tag empfangen die beiden LIGO-Detektoren in den USA zum ersten Mal Gravitationswellen. Das Signal stammte von zwei schwarzen Löchern, die in ungefähr 1,3 Milliarden Lichtjahren Entfernung miteinander verschmolzen waren. Ziemlich genau hundert Jahre zuvor hatte Albert Einstein diese winzigen Kräuselungen der Raumzeit vorhergesagt – aber nicht geglaubt, dass sie jemals nachgewiesen werden könnten. Klar, dass ein solches Ereignis nicht nur den Kosmos zum Beben bringt, sondern auch die Verlage anregt, flugs Bücher zum Thema auf den Markt zu werfen. Dies umso mehr, als für die sensationelle Entdeckung auch noch der Physik-Nobelpreis 2017 an die drei Forscher Barry Barish, Kip Thorne und Rainer Weiss verliehen wurde. So kann sich der interessierte Leser über ein nicht geringes Angebot auf dem Buchmarkt freuen, das unterschiedliche Zielgruppen anspricht.

An den Fortgeschrittenen mit soliden Astronomie- und Physikkenntnissen wendet sich **Andreas Müller**. Die zehn Kapitelüberschriften des Buchs sind als Fragen formuliert, etwa „Was sind Gravitationswellen?“, „Welche kosmischen Quellen geben Gravitationswellen ab?“ oder „Was wird man Neues mit Gravitationswellen entdecken können?“ Die ausführlichen Antworten befriedigen die Neugier und vermitteln tatsächlich alles, was es rund um das Thema

an Wissenswertem gibt. Der Text zeigt allerdings eine Diskrepanz: Die bisweilen sehr saloppe Sprache steht in Kontrast zu dem über weite Strecken außerordentlich anspruchsvollen Inhalt.

Da geht es um den metrischen Tensor ebenso wie um den Kerr-Parameter oder Einsteins Quadrupolformel. Apropos: Andreas Müller, Astrophysiker und Wissenschaftsmanager im Exzellenzcluster „Universe“ an der Technischen Universität München, scheut sich nicht, im Fließtext oder in grau unterlegten Kästen eine ganze Menge Formeln unterzubringen. Diese Kästen durchzuarbeiten, ist glücklicherweise kein Muss – man kann dem Text auch so folgen. Den meisten Abschnitten vorangestellt sind Interviews mit Wissenschaftlern – etwa mit Rainer Weiss, einem der drei Nobelpreisträger. Aus diesen Gesprächen erfährt der Leser auf unterhaltsame Weise und gleichsam aus erster Hand viel Neues.

Allein der Titel *Signale der Schwerkraft* zeigt, dass das Buch von **Rüdiger Vaas** mehr in die populärwissenschaftliche Richtung geht, wenngleich in diversen „Exkursen“ die eine oder andere Formel steht. Der Astronomieredakteur bei der Zeitschrift *BILD DER WISSENSCHAFT* legt hier keinen ganz neuen Text vor: Teile sind aktualisierte Auszüge aus einem früheren Titel über die Relativitätstheorie sowie ihre Grenzen und naturphilosophischen Konsequenzen. Beim Lesen fällt das nicht sehr

auf, das Buch kommt recht homogen daher. Allerdings fehlen übergeordnete Abschnitte, sodass sich Kapitel an Kapitel reiht und die Themen nicht immer fortschreitend aufeinander aufbauen.

Der Autor beschreibt die Historie der Erforschung der Gravitationswellen ebenso wie die Entwicklung der Detektoren – vom Aluminiumzylinder zum modernen Laserinterferometer – und geht gründlich auf die Quellen der Wellen ein. Hier merkt man Vaas' Vorliebe für alles, was die Wissenschaft an exotischen Hypothesen zu bieten hat: Da geht es um mikroskopisch kleine, explodierende schwarze Löcher, die im ersten Sekundenbruchteil des Urknalls entstanden sein sollen und vielleicht sogar die rätselhafte Dunkle Materie bilden könnten. Das Buch ist aktuell, sein Autor nah an der Forschung dran. Das zeigt etwa die Erwähnung des Gerüchts um die Detektion eines Signals von kollidierenden Neutronensternen – eine Entdeckung, die bei Erscheinen des Buchs im Oktober noch nicht veröffentlicht war, mittlerweile aber als neuester Coup der noch jungen Gravitationswellen-Astronomie gilt.

Der gelehrte „Herr Professor“ ist untrennbar mit **Harald Lesch** verbunden, der in allen Medien als Deutschlands Wissenschaftserklärer unterwegs ist. Ehrensache, dass er bei dem Thema Gravitationswellen nicht fehlen darf. Allerdings fungiert er hier vor allem als Herausgeber einer Sammlung von Texten, die von einer Autorin und sie-

ben Autoren stammen, darunter ehemalige Studenten von Lesch. Er selbst hat vier Beiträge geschrieben, die – wie die anderen auch – nur jeweils wenige Seiten umfassen. Ebenfalls allen gemein ist die leicht zu lesende, aber bisweilen arg metaphorische Sprache, etwa wenn schwarze Löcher „einen aufgeblähten Wanst um sich herumschleudern“ oder „Neutrinos blitzartig in die ersehnte Freiheit“ entweichen.

Das Buch ist mit 127 Seiten relativ dünn und kann schon allein deswegen keinen vollständigen Überblick über das Thema bieten. Dennoch wird der Leser, der sich nicht allzu intensiv in die Thematik vertiefen möchte und obendrein wenig Zeit hat, über die wichtigsten Fakten informiert. Das geschieht anschaulich und verständlich. Der eine oder andere Fehler ist offenbar der raschen Fertigstellung des Buchs geschuldet: So etwa ist die Bildunterschrift zum Hertzsprung-Russell-Diagramm verwirrend, weil dort von „Leuchtkraft“ und

„Spektraltyp“ die Rede ist, die beiden Achsen in der Abbildung jedoch mit „Leuchtkraft“ und „Oberflächentemperatur“ bezeichnet sind. Schade auch, dass sieben Seiten durch einen eher dürftigen Kalauer darüber verschenkt werden, ob das Buch weitergehen soll.

Den an Astronomie Interessierten ist **Govert Schilling** ein Begriff. Seit vielen Jahren zählt der niederländische Wissenschaftsjournalist zu den arrivierten Autoren, die mit didaktischem Geschick mühelos komplizierte Zusammenhänge erklären. Sein Buch über Gravitationswellen macht da keine Ausnahme. Zunächst taucht der Autor ein in die Gedankenwelt Albert Einsteins und den zentralen Begriff der Raumzeit, wobei er immer wieder biografische Passagen über das Genie einfließen lässt. Generell kommt die Physikgeschichte von Aristoteles über Galilei bis Newton nicht zu kurz. So kann der Leser

die Wege und Irrwege der Wissenschaft nachvollziehen und die Entdeckung der Gravitationswellen in einen sauberen historischen Kontext einordnen.

Auch zeitgenössische Experten kommen bei Schilling zu Wort, etwa der Max-Planck-Direktor Karsten Danzmann. Überhaupt hat der Autor mit vielen wichtigen Forscherinnen und Forschern persönlich gesprochen und diverse Brennpunkte der Wissenschaft von den Gravitationswellen selbst besucht. Der Anhang mit ausführlichen Anmerkungen sowie einem umfassenden Stichwortverzeichnis macht das Buch zudem zu einem wertvollen Nachschlagewerk. Unter dem Strich herausgekommen ist eine spannende Wissenschaftsreportage im besten Sinne, die von Triumphen, aber auch Fehlschlägen berichtet. Eine, wie der Brite Martin Rees, seines Zeichens Königlich Astronom, im Vorwort schreibt, „wunderbare Geschichte“.

Helmut Horning

Die besprochenen Bücher

- Andreas Müller, **10 Dinge, die Sie über Gravitationswellen wissen wollen**, Von schwächsten Signalen und stärksten Ereignissen, 253 Seiten, Springer-Verlag, Berlin 2017, 19,99 Euro
- Rüdiger Vaas, **Signale der Schwerkraft**, Gravitationswellen: Von Einsteins Erkenntnis zur neuen Ära der Astrophysik, 208 Seiten, Franckh-Kosmos Verlags-GmbH, Stuttgart 2017, 12,99 Euro
- Harald Lesch (Hrsg.), **Die Entdeckung der Gravitationswellen**, Oder warum die Raumzeit kein Gummituch ist, 127 Seiten, C. Bertelsmann Verlag, München 2017, 15,00 Euro
- Govert Schilling, **Einsteins Ahnung**, Das Rennen um den Nachweis der Gravitationswellen, 432 Seiten, Piper Verlag, München 2017, 24,00 Euro



Von Regenwurm und Klassenkampf

Ilona Jerger, **Und Marx stand still in Darwins Garten**

288 Seiten, Ullstein Verlag, Berlin 2017, 20,00 Euro

England, im Jahr 1881: In seinem Haus in Kent sucht Charles Darwin wieder einmal Trost bei seinen Regenwürmern. Der Naturforscher und Begründer der Evolutionstheorie versucht, schwere Gedanken und Schlaflosigkeit mit Arbeit zu kurieren. So zählt er nachts die Exkrementkügelchen seiner Würmer, um Hochrechnungen über deren Verdauungstätigkeit anzustellen.

Zwanzig Meilen entfernt liegt Karl Marx mit einer fiebrigen Bronchitis darnieder. Der Umstürzler aus Trier lebt in London im Exil, ist ständig knapp bei Kasse und verzettelt sich bei der Arbeit. So kommt er mit Band II und III von *Das Kapital* einfach nicht voran.

Auf den ersten Blick sind Darwin und Marx grundverschieden. Dass sie aber weit mehr gemeinsam haben als ihre charaktervollen Rauschebärte, zeigt Ilona Jerger in ihrem ersten Roman. Jerger ist Germanistin und Politologin, war zehn Jahre lang Chefredakteurin der Zeitschrift *NATUR* und arbeitet mittlerweile als freie Journalistin. In ihrem neuen Buch porträtiert sie mit viel Erzähltalent zwei alternde Gelehrte, welche die Welt auf ganz unterschiedliche Weise revolutioniert haben. Wie hätte wohl ein Treffen zwischen den beiden ausgesehen?

In Wirklichkeit sind sich Darwin und Marx nie begegnet. Beide jedoch kannten das Werk des jeweils anderen, und Marx hat sogar ein Exemplar von *Das Kapital* mit einer wertschätzenden Widmung an Darwin geschickt. Das brachte Ilona Jerger auf die Idee zu einem Doppelporträt. Als Bindeglied erinnert sie den gemeinsamen

Hausarzt Dr. Beckett. Mit ihm führen beide tiefsinnige Gespräche, und weil es der Mediziner mit der Schweigepflicht nicht allzu genau nimmt, erfahren sie durch ihn auch mehr vom jeweils anderen. So schafft es die Autorin über die fiktive Gestalt des Arztes ganz nebenbei, ihren Lesern das Leben und die Gedankenwelt ihrer Protagonisten nahezubringen.

Im Laufe der Lektüre werden dabei immer mehr Parallelen zwischen den beiden sichtbar. Eine davon ist die Distanzierung vom Glauben. Darwin, der ursprünglich Pfarrer werden sollte, hat mit seiner Evolutionstheorie den Schöpfer überflüssig gemacht. Das quält nicht nur seine Ehefrau Emma, die den Gedanken nicht erträgt, ihren Mann im Paradies nicht wiederzusehen. Marx stammt aus einer Rabbinerfamilie, und wäre es nach seiner Mutter gegangen, dann wäre er Rabbi von Trier geworden. Stattdessen wettet er gegen die Religion – für ihn ein Instrument, um die Arbeiter zu unterdrücken, indem sie das Heil ins Jenseits verlagert.

Der Roman gipfelt in einem fiktiven Abendessen im Hause Darwin. Neben Charles und Emma Darwin sowie Karl Marx nehmen daran auch der englische Zoologe, Sozialist und Freidenker Edward Aveling, der deutsche Arzt, Philosoph und Materialist Ludwig Büchner sowie der Pastor Reverend Thomas Goodwill teil. Bald schon dreht sich das Gespräch um Gott und die Revolution, denn Darwins ermüdende Ausführungen zum Regenwurm interessieren hier keinen.

Die Anspannung bei Tisch wird förmlich greifbar, wenn Reverend Goodwill in dieser illustren Runde von Atheisten das Tischgebet spricht oder wenn er vor lauter Unwohlsein das Weinglas zwischen den eingewebten Quadraten auf der Tischdecke hin- und herschiebt. Köstlich: die schnippische Emma Darwin. Die Stimmung schaukelt sich immer mehr auf, und der Abend endet im Eklat. Darwin und Marx aber beschließen ihn gemeinsam im nächtlichen Garten, jenseits von Regenwurm und Klassenkampf.

Als Roman lebt das Buch von fiktiven Elementen. Ilona Jerger hat jedoch gründlich recherchiert und hält sich, wo möglich, an die historischen Fakten. Dass sie Darwin in ihrem Buch deutlich mehr Raum gewährt als Marx, lässt erahnen, dass ihr der zurückhaltende Naturforscher nähersteht als der laut polternde Kommunist.

Jerger schreibt ruhig und atmosphärisch, und die altertümliche Sprache passt wunderbar in die Zeit. Die Stimmung ist oft melancholisch und spiegelt die Lebenssituation der Protagonisten: Beide fühlen sich dem Tod nahe und ziehen Bilanz. Oft gibt es aber auch Anlass zum Schmunzeln, vor allem bei den mit feinem Humor komponierten Dialogen. Wer sich – jenseits ihres intellektuellen Vermächtnisses – für die persönlichen Seiten von Darwin und Marx interessiert und beim Lesen die leisen Töne schätzt, der wird an dem Roman viel Freude haben.

Elke Maier



Reise zu den Geschwistern der Erde

Thorsten Dambeck, **Planetenwelten**, In den Tiefen des Sonnensystems

224 Seiten, Franckh-Kosmos Verlags-GmbH, Stuttgart 2017, 39,90 Euro

Einen fernen Planeten hat sicher jeder schon einmal gesehen – bewusst oder unbewusst. Denn beim Blick zum gestirnten Himmel mag der eine oder andere „Stern“ auffallen, der besonders ruhig leuchtet. Oder der nach Sonnenunter- oder vor Sonnenaufgang über dem Horizont bemerkenswert hell strahlt. Im Teleskop entpuppen sich diese Lichter dann als mehr oder weniger kleine Scheibchen. Bei längerer Beobachtung kann man außerdem die stetige Wanderung über das Firmament verfolgen. Diese Eigenschaft hat den Objekten vor Jahrtausenden ihren Namen gegeben, denn „Planet“ geht zurück auf das altgriechische Wort für „umherschweifen“.

Über diese Himmelskörper hat Thorsten Dambeck einen unterhaltsamen, lehrreichen und optisch ansprechenden Bildband herausgegeben. Der Wissenschaftsjournalist – tätig auch für MAXPLANCK-FORSCHUNG – widmet sich darin allen acht großen Planeten, den Kleinkörpern wie Asteroiden und Kometen, aber auch der Sonne, die das System gleichsam regiert. Die Texte sind präzise formuliert und enthalten sämtliche Informationen, die zum Verständnis der mehr als 300 Fotos notwendig sind.

Die Reise durch die Tiefen des Sonnensystems beginnt im Zentrum, beim Stern des Lebens. Aufnahmen in unterschiedlichen Spektralbereichen zeigen das Tagesgestirn in ungewohntem Licht und erklären Phänomene wie Korona, Flecken, Protuberanzen oder die allgegen-

wärtigen, aber unsichtbaren Neutrinos, die von dem gewaltigen Atomreaktor im Innern des Gasballs künden.

Unter der Überschrift „Gesteinsplaneten“ beschreibt Dambeck jene Geschwister der Erde, die ihr in Aufbau, Zusammensetzung und Dichte gleichen. In diesem zweiten Abschnitt des Buchs kann man mit den Augen trefflich auf der kraterzerfurchten Oberfläche des Merkur herumspazieren oder mittels Radar unter den dichten Wolkenschleiern der Venus spähen. Wer mag, begibt sich auf die Spuren der *Apollo*-Astronauten auf dem Mond oder durchstreift die bizarren Landschaften des Mars, etwa zartrosa schimmernde Dünen, an deren Flanken scheinbar Bäume wachsen.

Im Kapitel „Kleinkörper“ begegnet dem Leser zunächst der Zwergplanet Ceres, einer von mehr als 700 000 Brocken, welche die Astronomen im inneren Sonnensystem aufgespürt haben. Dazu zählt auch Vesta, die – ebenso wie Ceres – von der Raumsonde *Dawn* besucht und von ihr aus der Nähe fotografiert wurde.

Schließlich der Höhepunkt in der jüngeren Geschichte des kosmischen „Kleinzeugs“: das Rendezvous der Raumsonde *Rosetta* mit dem Kometen Churyumov-Gerasimenko. Auch an dieser Mission war das Max-Planck-Institut für Sonnensystemforschung maßgeblich beteiligt (siehe etwa MAXPLANCKFORSCHUNG 3/2014, Seite 46 ff.). Das Buch fasst die wichtigsten wissenschaftlichen Ergebnisse und die schönsten Aufnahmen dieses kosmischen Urgesteins prägnant zusammen. Originell das Bild von

Philae: Die Landung der kleinen Sonde misslang zwar; aber immerhin führte *Philae* zunächst während einiger Stunden ein paar Experimente durch, bevor sie verstummte. Rund 22 Monate galt sie als verschollen – und tauchte schließlich auf einem Foto vom 2. September 2016 wieder auf.

Ein spektakuläres Bild des beringten Saturn, gesendet von der Raumsonde *Cassini*, eröffnet die Porträtgalerie der Gasplaneten, zu denen auch Jupiter, Uranus und Neptun zählen. Nicht zu kurz kommt die Welt der Monde dieser Riesen, allen voran die Trabanten Europa (Jupiter) und Enceladus (Saturn), unter deren vereisten Krusten die Forscher jeweils einen Ozean aus flüssigem Wasser vermuten. Bei Enceladus hat *Cassini* sogar speiende Geysire beobachten können. Und auf der Oberfläche des Neptunsatelliten Triton zeigen sich dunkle „Rauchfahnen“, offenbar fein verteilte Partikel, die in die dünne Stickstoffatmosphäre ausgestoßen und vom Wind weggetragen werden.

Die Reise endet am Rand des Sonnensystems: bei den kleinen Körpern weit hinter Neptun und natürlich beim Zwergplaneten Pluto. Die Nahaufnahmen von ihm und seinem größten Mond Charon sind nicht nur sehr aktuell, sondern auch klug zusammengestellt – was übrigens für das gesamte Bildmaterial gilt. Mit einer kleinen Geschichte der Raumsonden-Forschung und einem Ausblick auf die Exoplaneten endet ein Buch, das jedem an der Astronomie Interessierten ohne Einschränkung zu empfehlen ist.

Helmut Hornung



Leben ist mehr als Programm

Ernst Peter Fischer, **Treffen sich zwei Gene**, Vom Wandel unseres Erbguts und der Natur des Lebens

336 Seiten, Siedler Verlag, München 2017, 24,99 Euro

Ob Intelligenz, Leseschwäche, Egoismus oder Untreue – heute ist es Mode, so gut wie jede menschliche Eigenschaft den Genen zuzuschreiben. Selbst Sportreporter machen mit: Sie führen ein „Stürmergen“ oder ein „Bayerngen“ ins Feld oder prophezeien, die Deutschen hätten es in ihren Genen, im Elfmeterschießen zu gewinnen. Der Wissenschaftshistoriker und Sachbuchautor Ernst Peter Fischer hält das für Blödsinn.

Gleich im Vorwort räumt er auf mit der Vorstellung, ein Gen sei „irgendein kleines Klötzchen oder knackiges Kästchen [...], das im Inneren eines Körpers oder einer Zelle brummt und rackert, um seine Träger mit den dazugehörigen Eigenschaften auszustatten“. Auch die Idee, ein genetisches Programm würde unser Leben bestimmen, sei falsch: Zum einen ist das menschliche Verhalten viel zu komplex, um allein von den Genen regiert zu werden, zum anderen ist die genetische Information keineswegs in Stein gemeißelt. Forscher auf dem Gebiet der Epigenetik haben gezeigt, dass Gene durch chemische Anhängsel modifiziert und so in ihrer Aktivität beeinflusst werden. Solche Än-

derungen können sogar an nachfolgende Generationen weitergegeben werden.

Um den Wandel des Genbegriffs nachzuzeichnen, wirft Fischer zunächst einen Blick auf die Entdeckungsgeschichte des Gens und erzählt von den Pionieren der Molekularbiologie. Im Jahr 1943 etwa wiesen der Mediziner Oswald Avery und sein Team nach, dass Gene aus DNA bestehen und nicht, wie erwartet, aus Proteinen. Zehn Jahre später präsentierten James Watson und Francis Crick die Struktur der Doppelhelix.

Nach und nach drangen Wissenschaftler immer tiefer in die Welt der Zellen und Moleküle vor. Sie fanden heraus, dass die Boten-RNA als Informationsträger zwischen DNA und Proteinen dient, entschlüsseln den genetischen Code oder entdeckten die Restriktionsenzyme – molekulare Scheren, die DNA schneiden.

Das Jahr 1973 gilt schließlich als die Geburtsstunde der Gentechnik. Damals gelang es Forschern erstmals, die Erbsubstanz aus zwei verschiedenen Spezies im Labor neu zusammenzubauen und in eine Zelle einzuschmuggeln. Der erste rekombinante Organismus war geschaffen.

Seit 2012 steht nun ein molekulares Werkzeug zur Verfügung, das alle bisherigen Methoden in den Schatten stellt. Das sogenannte CRISPR-Cas9-System, das ursprünglich aus Bakterien stammt, ermöglicht es, beliebige Gensequenzen mit bisher unerreichter Präzision gezielt zu verändern. Seine Entdeckung macht Hoffnung auf völlig neue Therapien in der Medizin – und schürt gleichzeitig Ängste vor möglichen Konsequenzen. Auch mit diesem Dilemma setzt sich der Autor auseinander.

Hilfreich ist, dass Ernst Peter Fischer die Experimente und ihre Ergebnisse stets komprimiert und im Hinblick auf ihre Bedeutung beschreibt, anstatt sich in molekularen Details zu verlieren. Fachbegriffe werden im Text erklärt und können im Glossar nachgeschlagen werden. Vorkenntnisse sind daher nicht unbedingt notwendig, außer zum Verständnis der Abbildungen, die doch sehr wissenschaftlich ausfallen. Lesern, die sich für Genetik interessieren, bietet das Buch einen lehrreichen und meist gut verständlichen Überblick, von der historischen Entwicklung des Genbegriffs bis hin zur aktuellen Gentechnik-Debatte.

Elke Maier

Weitere Empfehlungen

- Thibault Damour, Mathieu Burniat, **Das Geheimnis der Quantenwelt**, Comic, 168 Seiten, Knesebeck Verlag, München 2017, 19,95 Euro
- Siddhartha Mukherjee, **Das Gen**, Eine sehr persönliche Geschichte, 768 Seiten, S. Fischer Verlage, Frankfurt am Main 2017, 26,00 Euro
- Carl Safina, **Die Intelligenz der Tiere**, Wie Tiere fühlen und denken, 526 Seiten, Verlag C.H. Beck, München 2017, 26,95 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 (Fax: -1405)
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)

Gestaltung

Julia Kessler, Sandra Koch
Voßstraße 9
81543 München
Telefon: 089 2781 8770
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 (Fax: -2145)
E-Mail: beatrice_rieck@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 (**MAXPLANCK-RESEARCH**) 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 unterhält 84 Institute und Forschungseinrichtungen, in denen rund 22 300 Personen forschen und arbeiten, davon etwa 6 000 Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler. Der Jahresetat 2017 umfasst insgesamt 1,6 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®)

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