

Ausgabe 01 | 2021

MAX PLANCK

Forschung

EVOLUTIONS BIOLOGIE

Viren aus der Urzeit

GESCHICHTE

Das Imperium ist zurück

BIOMECHANIK

Zellen unter Druck



LEBEN MIT EXTREMEN



Reben aus der Asche: Auf der Kanareninsel Lanzarote wird seit rund 250 Jahren Wein in den Sedimenten von Vulkanausbrüchen angebaut. Die Weinbauern legen in der meterdicken sogenannten Lapillischicht Gruben an und pflanzen die Weinstöcke hinein. In dem regenarmen Klima speichern die erbsen- bis nussgroßen porösen Steinchen der Schicht den nächtlichen Tau. Mäuerchen schützen die Pflanzen vor starkem Wind. Das Beispiel zeigt, wie sich die Landwirtschaft extremen Bedingungen anpassen kann.

EDITORIAL

Liebe Leserin, lieber Leser

Unser Planet bietet dem Leben ein komfortables Zuhause. Wasser, Nahrung, Wärme, Licht – alles ist vorhanden, damit Organismen aller Arten und auch wir Menschen wachsen und gedeihen können. Doch an manchen Orten und zu manchen Zeiten ist es auf der Erde durchaus ungemütlich: Hitze oder Kälte, heftige Niederschläge oder absolute Trockenheit, starke Winde, Blitzschlag, Vulkanausbrüche oder Erdbeben bedrohen die Existenz vieler Lebewesen. Die einzige Chance ist, sich an die extremen Bedingungen anzupassen.

In der Natur finden sich dafür immer wieder neue überraschende Beispiele, etwa eine Alge, die in der Wüste heimisch ist. Forschende untersuchen, wie sie in dieser lebensfeindlichen Umgebung existieren kann und ob sich die Eigenschaften der Alge auf Nutzpflanzen übertragen lassen.

Die Frage, wie Pflanzen mit Trockenheit zurechtkommen können, wird immer dringlicher. Die vergangenen Sommer haben gezeigt, dass auch hierzulande die Landwirtschaft mit langen Dürreperioden rechnen muss. Und nach den Modellen der Klimaforschung werden solche Extremwetterereignisse noch häufiger. Ihre Prognosen können helfen, dass wir uns auf solche Situationen einstellen.

Die Geschichte zeigt, dass der Mensch den Herausforderungen seiner Umwelt in vielfältiger Weise begegnet. Katastrophen wie Erdbeben und Vulkanausbrüche haben zu großen menschlichen Dramen geführt, aber sie haben auch Kunst und Kultur geprägt und inspiriert. In der italienischen Metropole Neapel finden sich dafür viele Beispiele.

Extreme sind bedrohlich. Doch es zeigt sich, dass selbst in unwirtlicher Umgebung und unter harschen Bedingungen immer wieder Leben keimt und sich Chancen eröffnen. In diesem Sinne wünschen wir aufschlussreiche Lektüre!

Ihr Redaktionsteam



34



44



52



58

34 | GETROCKNET

Im Sommer 2018 führte der Rhein auch bei Düsseldorf extrem wenig Wasser.

44 | GESPANNT

Asifa Akhtar möchte verstehen, wie die Gen-expression reguliert wird.

52 | GEFÄRBT

Mikroorganismen geben Teichen zur Salzgewinnung in Südfrankreich die Farbe.

58 | GEEHRT

Der Habsburger Feldherr Ban Josip Jelačić kämpfte für die Unabhängigkeit Kroatiens.

FOTOS: PICTURE ALLIANCE/DPA | CHRISTOPHE GATEAU (LINKS OBEN); MARCUS ROCKOFF (RECHTS OBEN); TOM HEGEN (LINKS UNTEN); DREAMTIME (RECHTS UNTEN)

03 | EDITORIAL

06 | ORTE DER FORSCHUNG

Eine Wiese in den Bayerischen Alpen

08 | KURZ NOTIERT

16 | ZUR SACHE

Kooperation nach Vorbild

Corona-Pandemie und Klimaschutz, aber auch Unternehmenserfolg und Straßenverkehr – ohne Zusammenarbeit funktioniert in der Gesellschaft kaum etwas. Damit das Miteinander gelingen kann, braucht es allerdings die richtigen Bedingungen.

IM FOKUS

Leben mit Extremen

22 | Von Katastrophen gezeichnet

Das Leben im Schatten des Vesuv ist für die Einwohner Neapels und ihre Kultur identitätsstiftend.

28 | Algenblüte im Wüstensand

Der Einzeller *Chlorella ohadii* trotz Sonne und Trockenheit und ist einer der am schnellsten wachsenden Organismen überhaupt.

34 | Vorhersehbarer Klimastress

Künstliche Intelligenz hilft, meteorologische Extremereignisse und ihre Folgen vorherzusagen.

42 | INFOGRAFIK

Es schwebt was in der Luft

44 | BESUCH BEI

Asifa Akhtar

Gendergap – auch im Genom

WISSEN AUS

52 | Viren aus der Urzeit

Nicht alle Viren schaden ihren Wirten. Ihre Evolutionsgeschichte verrät viel über die Entwicklung des Lebens.

58 | Das Imperium ist zurück

Vergangene Reiche – etwa der Osmanen und der Habsburger – wirken bis heute nach, auch im Umgang der Nachfahren miteinander.

66 | Nervengerüst aus dem Reagenzglas

Verletzte Neuronen heilen meist nicht von selbst. Peptide, die Netzwerke bilden, können ihnen dabei helfen.

72 | Zellen unter Druck

Wie leicht sich etwa weiße Blutkörperchen verformen lassen, sagt etwas über den Gesundheitszustand eines Menschen aus.

78 | POST AUS...

La Palma

80 | NEU ERSCIENEN

82 | FÜNF FRAGEN

Zum Patentschutz für Impfstoffe

83 | IMPRESSUM

5

GEOMAX

Menschen in Bewegung – Migration schafft Vielfalt



*ARTENSCHUTZ
MIT DER APP FLORA INCOGNITA*

6



ORTE DER FORSCHUNG



FOTO: SHUTTERSTOCK / LAPA SMILE

Wandern, spazieren gehen, viel über Blumen, Gräser und Bäume lernen und dabei Teil eines wissenschaftlichen Projekts sein – die kostenlose App *Flora Incognita* macht's möglich. Schnell und unkompliziert erkennt sie Tausende von Wildpflanzen. Als gemeinsame Entwicklung des Max-Planck-Instituts für Biogeochemie in Jena und der Technischen Universität Ilmenau wurde der zugrunde liegende Algorithmus zunächst mit mehreren Millionen Bildern von Pflanzen trainiert. Nun lernt er mit jeder Nutzung dazu.

Also *Flora-Incognita*-App herunterladen, Foto machen – und schon ist klar, welche Pflanzen hier gerade blühen. Aber die App kann weit mehr: Ist diese Pflanze giftig? Ist sie häufig oder selten? Steht sie unter Naturschutz? Den Nutzern bietet *Flora Incognita* einfach, schnell und direkt vor Ort viel Wissen zu einer Pflanze, die sie noch nicht kennen. Gleichzeitig erhalten die Wissenschaftler neue Daten und Fakten zur Pflanzenvielfalt: Wann und wo blühen welche Arten? Wie stark unterscheiden sich Pflanzen einer Art? Wie verändert sich die Zusammensetzung der Pflanzenarten an einem Standort? So kann in diesem Citizen-Science-Projekt jeder mithelfen, Biodiversität und ihre Veränderungen – etwa durch Klimawandel oder landwirtschaftliche Nutzung – zu untersuchen. Und eine Blumenwiese, hier in den Bayerischen Alpen, wird mithilfe von künstlicher Intelligenz zum Ort der Forschung.

floraincognita.com



Relikte spätantiker Blütezeiten: Während einer Kälteperiode im 6. Jahrhundert nach Christus dehnten sich Siedlungen im Nahen Osten – wie hier in Syrien – dank steigender Niederschläge sowie eines verbesserten Wasser-managements aus.

AUS DER KLIMAGESCHICHTE LERNEN

8 Historische Klimaveränderungen, etwa die Kleine Eiszeit während des 13. bis 19. Jahrhunderts, werden häufig mit Hungersnöten, Krisen und Kriegen in Verbindung gebracht. Doch es gibt viele Beispiele, wie Bevölkerung und Politik die veränderten Bedingungen zu ihrem Vorteil nutzen oder zumindest Stabilität wahren konnten. Ein interdisziplinäres Forschungsteam unter Beteiligung des Max-Planck-Instituts für Menschheitsgeschichte verfolgt daher einen neuen Ansatz, um die Reaktion von Gesellschaften auf Kli-

maveränderungen zu erforschen. Dieser stellt die gesellschaftliche Resilienz in den Mittelpunkt und gewährleistet dabei einen sorgfältigeren Umgang mit Klimadaten und historischen Fakten, als es bisher oft der Fall war. Mithilfe des Ansatzes führte das Team bereits exemplarisch Fallstudien durch: etwa zur spätantiken Kälteperiode im 6. Jahrhundert nach Christus. Die Veränderungen setzten einige Gesellschaften unter Druck, andere konnten profitieren. So nutzten etwa die Bewohner des östlichen Mittel-

meerraums die gestiegenen Niederschlagsmengen für größere Ernten und verbesserten das Wassermanagement. Insgesamt haben die Forschenden fünf Strategien für die Bewältigung von Klimaveränderungen identifiziert, die sie jetzt genauer untersuchen möchten: das Ergreifen neuer sozioökonomischer Möglichkeiten, die Nutzung robuster Energiesysteme, die Erschließung neuer Ressourcen durch Handel, eine politisch effektive Reaktion auf Extremereignisse sowie Migration.

www.mpg.de/16615581

AUSGEZEICHNET ★

PATRICK CRAMER

Der renommierte Louis-Jeantet-Preis für Medizin geht dieses Jahr an Patrick Cramer, Direktor am Max-Planck-Institut für biophysikalische Chemie, für seine bahnbrechenden Arbeiten auf dem Gebiet der Gentranskription. Mithilfe dieses Kopiervorgangs erstellen lebende Zellen Abschriften ihrer Gene, die dann als Bauanleitung für die Produktion von Proteinen dienen. Im Fokus von Cramers Forschung stehen die RNA-Polymerasen, molekulare Maschinen, die diesen Pro-

zess umsetzen. Patrick Cramer hat die Strukturen vieler dieser zellulären Kopiermaschinen erstmals in atomarer Auflösung sichtbar gemacht. Er konnte aufklären, wie die RNA-Polymerasen die genetische Information übersetzen, und er zeigte auf, wie sie dabei im Team mit anderen Proteinkomplexen zusammenarbeiten. Die Auszeichnung der Schweizer Louis-Jeantet-Stiftung ist mit 500 000 Schweizer Franken dotiert.

www.mpg.de/16332914



FOTO: ARTUR RODZIEWICZ

GÜNSTIGER SCHNELLTEST

Solange es zu wenig Impfstoff gibt, könnte es helfen, möglichst viele Menschen regelmäßig auf das Virus zu testen, um die Corona-Pandemie einzudämmen. Forschende des Max-Planck-Instituts für evolutionäre Anthropologie und des Krankenhauses St. Georg in Leipzig haben eine verbesserte Möglichkeit für den Nachweis von Sars-CoV-2 entwickelt. Die Cap-iLamp genannte Methode vervielfältigt die gewünschten Zielsequenzen des Virus bei einer konstanten Temperatur und funktioniert mit einer minimalen technischen Ausstattung. Statt eines Abstrichs, den viele Menschen als unangenehm empfinden, ist dafür nur eine Gurgelprobe nötig. Nach einer halben bis maximal einer Stunde kann das Testergebnis – orange oder rot für negativ, intensiv gelb für positiv – visuell oder mithilfe einer frei verfügbaren Smartphone-App abgelesen werden. Die verbesserte Testmethode übertrifft ähnliche Tests, weil deutlich weniger falsch-positive Ergebnisse auftreten. Außerdem kann sie eine einzelne infizierte Probe in einem Pool mit 25 nicht infizierten Proben nachweisen. Die technischen Kosten bei einer Pooltestung liegen bei etwa einem Euro pro Person.

www.mpg.de/16534270



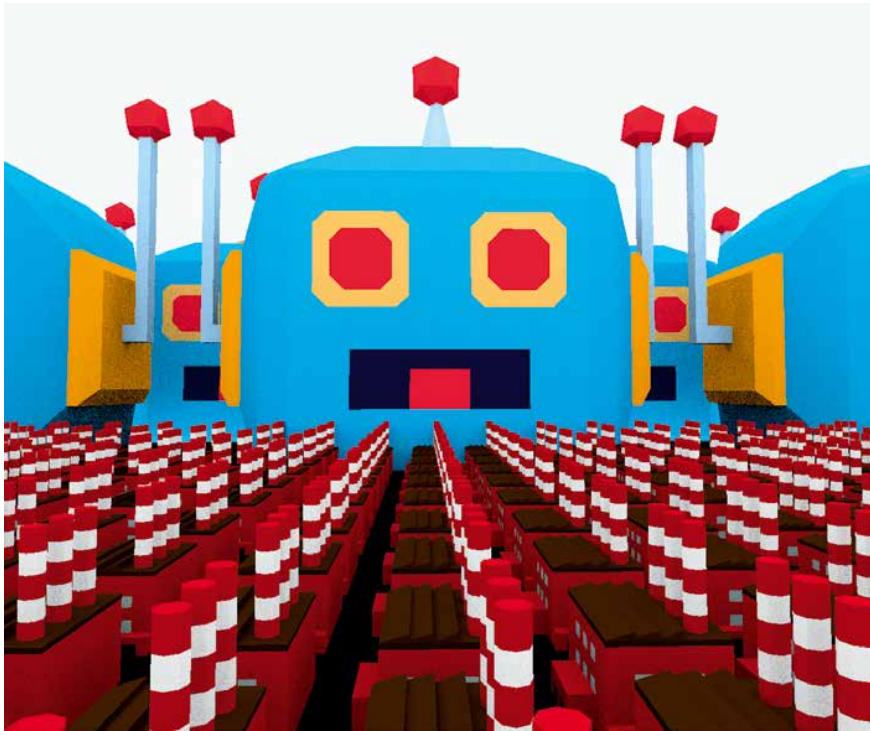
Vielfältiger Stoff: Eine neu entdeckte Nickelverbindung kann zukünftig als Katalysator für zahlreiche chemische Produkte dienen.

KATALYSATOR MIT BREITER ANWENDUNG

Nickel in Verbindung mit organischen Partnermolekülen dient der chemischen Industrie als Katalysator für die Knüpfung vieler chemischer Bindungen. Die Nutzung reicht von der Produktion von Feinchemikalien bis zur Synthese von Arzneimitteln, Insektiziden und Pestiziden. Dabei kommt seit vielen Jahrzehnten ein Nickelkomplex mit Cyclooctadien zum Einsatz, der vor rund 60 Jahren am Max-Planck-Institut für Kohlenforschung entdeckt wurde. Dieser ist jedoch äußerst kompliziert in der Handhabung, weil er sich an der Luft sofort zersetzt und sehr temperaturempfindlich ist. Am selben Max-Planck-Institut ist es aber gelungen,

eine neuartige Serie von Nickelkomplexen zu entwickeln, die an der Luft etwa einen Monat lang stabil sind und höhere Temperaturen aushalten als der bisher verwendete Komplex. In den gewünschten Eigenschaften für die Katalyse ähneln sich die beiden jedoch stark. Daher war das Interesse der Industrie bereits nach der ersten Veröffentlichung immens. Nun hat der US-amerikanische Feinchemikalienhersteller Strem Chemicals eine erste, nicht exklusive Lizenz für die Produktion des Katalysators erworben, mit dem Ziel, Kunden aus Wissenschaft und Forschung damit zu beliefern.

www.mpg.de/16303453



Digitale Konkurrenz: Roboter stehen bereit, die Arbeit von Berufstätigen zu übernehmen – im Spiel ebenso wie in Wirklichkeit.

DER AUTOMATISIERUNG IM SPIEL BEGEGNEN

- 10 Wir leben in einer Welt, in der vermehrt Roboter Autos bauen, Algorithmen mit Aktien handeln und Computer Texte übersetzen. Robotik, Digitalisierung und künstliche Intelligenz verändern zahlreiche Berufe. Arbeitsplätze fallen weg, neue kommen hinzu. Im Onlinespiel *The Automated Life* kann man üben, diese Herausforderungen in der Arbeitswelt zu bewältigen. Entwickelt wurde das Spiel im Forschungsbereich „Mensch und Maschine“ am Max-Planck-Institut für Bildungsforschung. Die Spielenden beginnen in einem Beruf, der durch Automatisierung stark gefährdet ist. Sie müssen für Weiterbildungen sparen und sich auf neue Stellen bewerben, die wiederum neue Optionen für Weiterbildung und Karriere eröffnen. Währenddessen schreitet die Automatisierung unerbittlich voran, ständig werden Jobs durch immer neue technische Entwicklungen abgeschafft. Mit Blick auf den Kontostand und die Jahre bis zur Rente braucht es schnelle und kluge Entscheidungen, um der Digitalisierung zu trotzen und am Ende in den wohlverdienten Ruhestand zu gehen. Wer mitspielt, dient dabei auch der Forschung: Die Daten aus den Spielen werden anonymisiert ausgewertet und sollen zu Erkenntnissen führen darüber, wie Menschen mit der Automatisierung umgehen.

www.mpg.de/16575378

GEBÄRDEN ALS SPRACHE VERSTEHEN

Mehr als 70 Millionen gehörlose Menschen auf der Welt verwenden eine Gebärdensprache. Doch die Hirnregionen, die sowohl gesprochene Sprache als auch Gebärden verarbeiten, ließen sich bislang nicht eindeutig identifizieren. Eine Metaanalyse des Max-Planck-Instituts für Kognitions- und Neurowissenschaften ergab, dass für beide Formen der Sprache vor allem das Broca-Areal im Stirnhirn der linken Hirnhälfte eine zentrale Rolle spielt. Gleichzeitig ist beim Verständnis von Gebärden auch das rechte Stirnhirn von Bedeutung, das nicht-sprachliche Aspekte wie räumliche oder soziale Informationen des Gegenübers verarbeitet. Bewegungen von Händen, Gesicht und Körper, aus denen Gebärden bestehen, nehmen Gehörlose und Hörende zwar prinzipiell ähnlich wahr; doch bei Gehörlosen aktivieren die Gebärden zusätzlich das Sprachnetzwerk in der linken Hirnhälfte, inklusive des Broca-Areals. Gehörlose nehmen die Gesten demnach als Zeichen mit sprachlichem Inhalt wahr statt als pure Bewegungsabläufe, wie es bei Hörenden der Fall ist.

www.mpg.de/16460070

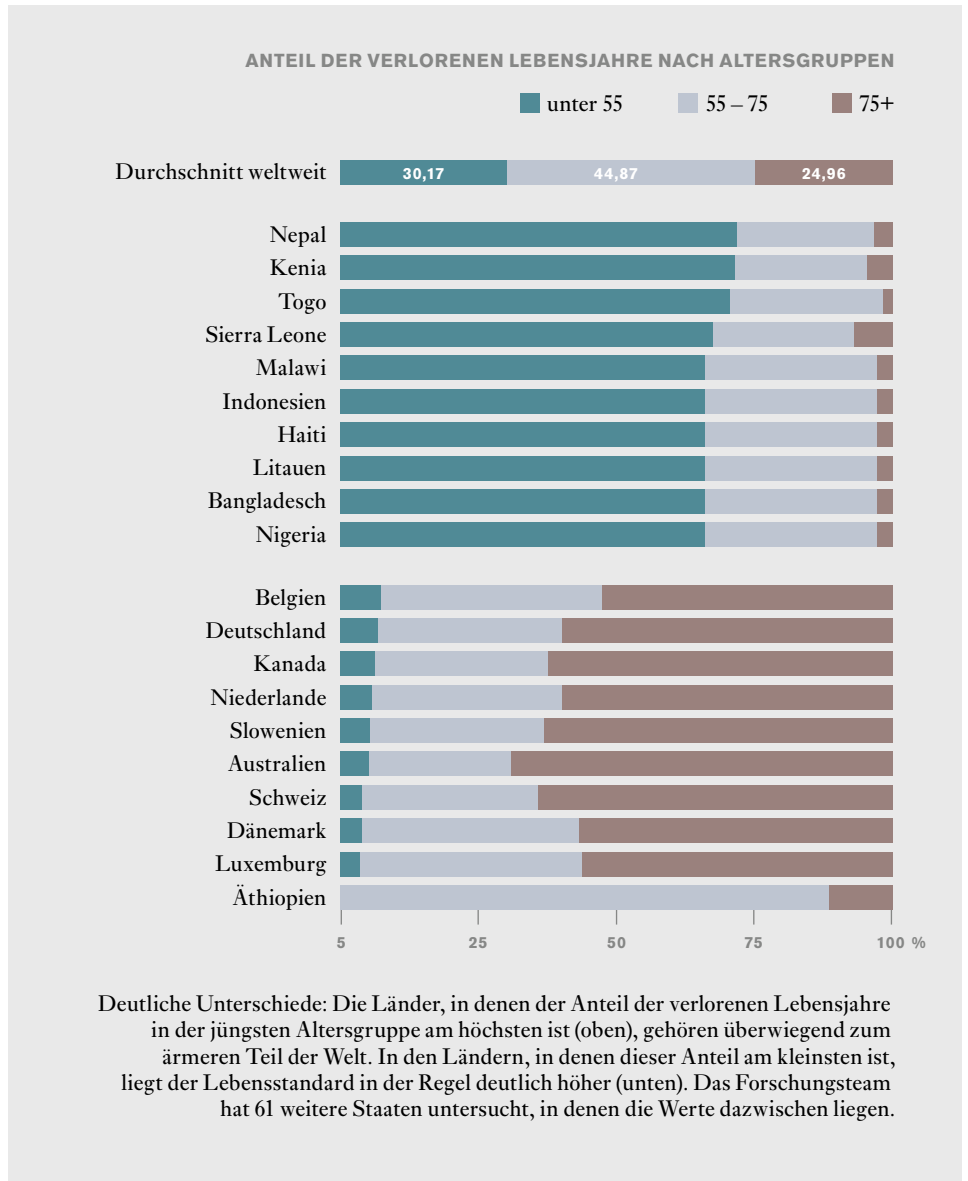
Auf Sprache spezialisiert: Das menschliche Gehirn ist darauf ausgerichtet, sprachliche Informationen zu verarbeiten – egal, ob gesprochen oder gebärdet.



VERLORENE LEBENSZEIT

Um die Folgen der Corona-Pandemie auf die Sterblichkeit richtig einzuschätzen, hat ein internationales Team mit Wissenschaftlern des Max-Planck-Instituts für demografische Forschung 1,2 Millionen Todesfälle aus 81 Ländern vom Beginn der Pandemie bis Anfang Januar 2021 ausgewertet. Sie fanden heraus, wie alt die Menschen waren, die an Covid-19 gestorben sind, und damit, wie stark ihr Leben im Vergleich zur durchschnittlichen Lebenserwartung verkürzt wurde. Menschen in der Mitte ihres Lebens und im frühen Rentenalter tragen dabei den größten Anteil an verloraener Lebenszeit. Im globalen Durchschnitt entfallen drei Viertel der verlorenen Lebensjahre auf Menschen, die jünger sind als 75 Jahre. Das steht im deutlichen Gegensatz zu der verbreiteten Meinung, dass an Covid-19 vor allem Menschen sterben, die ohnehin nur noch wenige Jahre zu leben hätten. Vor allem in Ländern mit mittlerem und niedrigem Lohnniveau ist der Anteil der verlorenen Lebensjahre in der jüngsten Bevölkerungsgruppe unter 55 Jahren oft deutlich größer als in der ältesten Gruppe. In Ländern mit hohem Einkommen zeigt sich ein anderes Bild: Dort entfallen meist mehr als die Hälfte der verlorenen Lebensjahre auf die älteste Bevölkerungsgruppe im Alter von über 75 Jahren.

www.mpg.de/16445438



GRAFIK: GCO NACH MPI FÜR DEMOGRAPHISCHE FORSCHUNG

KÜNSTLICHE INTELLIGENZ UNTERSTÜTZT COVID-19-PROGNOSEN

Für Ärztinnen und Ärzte sind es die wohl schwierigsten und belastendsten Entscheidungen: Gerade in der Covid-19-Pandemie müssen sie immer wieder abschätzen, wie hoch das Risiko für Patienten ist, an der Erkrankung zu sterben. Im besten Fall können sie dann die Behandlung anpassen und die Betroffenen retten. Ein Team um Forschende des Max-Planck-Instituts für Intelligente Systeme hat nun einen Algorithmus entwickelt und

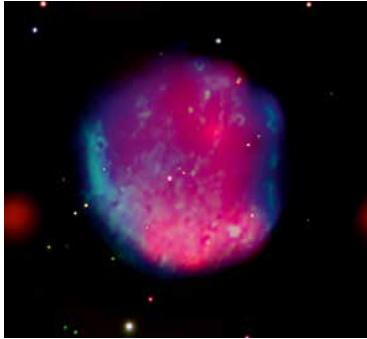
mit Methoden des maschinellen Lernens trainiert, um Vorhersagen der Sterblichkeit zu unterstützen. Der Algorithmus nutzt zahlreiche medizinische Daten und entdeckt darin Muster, die für Menschen kaum zu erkennen sind. Er lässt sich auch nutzen, um das Sterblichkeitsrisiko bei anderen Erkrankungen vorherzusagen. Ein ähnlicher Algorithmus spürt in medizinischen Daten wie etwa Puls und Blutdruck sowie in Informationen über Symp-

tome der Erkrankten Muster auf, die auf einen schweren Verlauf von Covid-19 hinweisen. Diesen Algorithmus erproben die Forschenden derzeit in einer Studie zusammen mit dem Universitätsklinikum Tübingen und suchen dafür noch Teilnehmerinnen und Teilnehmer aus dem deutschsprachigen Raum, bei denen gerade erst eine Corona-Infektion nachgewiesen wurde.

ei.is.mpg.de/covid-19-studie
www.mpg.de/16427672

STERNEXPLOSION AN UNGEWÖHNLICHEM ORT

BILD: EROSITA/MPE (X-RAY), CHDPASS / SPASS / N. HURLEY-WALKER, ICRAR-CURTIN (RADIO)



Relikt aus Gas: Dieses zusammengesetzte Röntgen- und Radiobild zeigt den Supernova-Überrest Hoinga.

Forschende des Max-Planck-Instituts für extraterrestrische Physik haben mit dem deutschen Röntgenteleskop eRosita in unserer Milchstraße einen riesigen, bislang unbekanntem Supernova-Überrest aufgespürt. Mit einem Durchmesser von mehreren Winkelgrad überrascht nicht nur seine Größe, sondern auch seine ungewöhnliche Position am Himmel: Hoinga, nach dem mittel-

alterlichen Namen für Bad Hönningen am Rhein getauft, befindet sich weit oberhalb der galaktischen Ebene – in einer Region, wo die Geburtsrate der Sterne eigentlich recht gering sein und entsprechend wenige Sonnen als Supernova zugrunde gehen sollten. Tatsächlich konzentrierten sich die Suchprogramme für Sternexplosionen meist auf die galaktische Scheibe und nicht auf die Außenbereiche der Milchstraße. In unserer Heimatgalaxie haben die Astronomen bislang nur etwa 300 der stellaren Relikte gefunden – wesentlich weniger als die 1200, die theoretisch in der Galaxis existieren sollten. Entweder haben die Forschenden die Supernova-Rate also falsch eingeschätzt, oder sie haben die große Mehrheit einfach übersehen. Hoinga zeigt sich übrigens bereits in den 30 Jahre alten Daten des deutschen Röntgensatelliten Rosat; aufgrund seiner Leuchtschwäche und seiner Position ist das Objekt allerdings niemandem aufgefallen.

www.mpg.de/16516891

WARNSYSTEM FÜR MÄRKTE

Finanzmärkte werden zukünftig berechenbarer: Ein internationales Team um Wissenschaftler des Max-Planck-Instituts für Mathematik in den Naturwissenschaften nutzt mathematische Instrumente, um frühzeitig Blasen und Crashes zu erkennen. Die Forschenden betrachten einen Finanzmarkt als Netzwerk von Aktien und bestimmen die Dynamik und Fragilität des Marktes mithilfe von Eigenschaften dieses Netzwerks, genauer gesagt: mithilfe sogenannter Ricci-Krümmungen. Mit ihrem Ansatz analysierten die Forschenden die Entwicklung des US-amerikanischen S&P500- und des japanischen Nikkei-225-Index zwischen 1985 und 2016. Während sich Wertpapiere in normalen Handelszeiten sehr unterschiedlich entwickeln, verhalten sie sich in Zeiten von Blasen und drohenden Marktcrashes viel einheitlicher, und dies lässt sich durch die Ricci-Krümmungen besser als durch andere Maße detektieren.

www.mpg.de/16593132

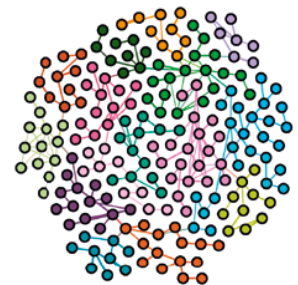
12

VOM EINZELKÄMPFER ZUM TEAMPLAYER

Der Übergang vom Ein- zum Vielzeller war ein entscheidender Schritt in der Evolution. Manche Organismen wie der Schleimpilz *Dictyostelium discoideum* beherrschen beide Lebensformen. Wofür sich der in Waldböden vorkommende Pilz entscheidet, hängt unter anderem vom Nahrungsangebot ab: Wenn Schleimpilzzellen nicht genug zu fressen finden, kommen sie zusammen und formen einen langen Stiel, der aus dem Fruchtkörper an seiner Spitze Sporen freisetzen kann. Dadurch kann der Pilz ungünstige Lebensbedingungen überdauern und neue Lebensräume mit möglicherweise besseren Bedingungen besiedeln. Forschende

des Max-Planck-Instituts für Immunbiologie und Epigenetik in Freiburg haben jetzt herausgefunden, dass insbesondere Schwefelmangel die Bildung eines Zellverbandes fördert. Als Bestandteil zweier Aminosäuren ist Schwefel für die Bildung und Aktivität von Proteinen unerlässlich. Fehlt das Element, können die Zellen nicht mehr genug Proteine für Wachstum und Zellteilung produzieren. Daran erkennen sie, dass in ihrer Umgebung nicht genügend Nährstoffe vorhanden sind. Gemeinsam bilden sie dann einen Fruchtkörper mit Sporen, um sich neue Ressourcen zu erschließen.

www.mpg.de/16474333



Vielsagende Verbindungen: Wenn sich an Finanzmärkten Blasen bilden, sind die Korrelationen im Netzwerk der Aktion viel dichter (unten) als in normalen Handelszeiten (oben). Die Knoten sind also stärker vernetzt, dies wird auch durch die orange Färbung veranschaulicht.

GRAPHIK: A. SAMAL | INSTITUTE OF MATHEMATICAL SCIENCES (UMSC)

Die Europäische Bulldoggfledermaus jagt nicht nur in Bodennähe nach Insekten, sondern steigt auch in große Höhen auf.



FOTO: ADRIÀ LÓPEZ BAUCELLS

WÄLDER IN GEFAHR

Mehr als die Hälfte der europäischen Wälder ist durch die Folgen der Erderwärmung bedroht. Zu diesem Schluss kommt ein internationales Team, an dem Henrik Hartmann, Wissenschaftler am Max-Planck-Institut für Biogeochemie in Jena, beteiligt war, in einer aktuellen Studie. Darin analysierten die Forschenden Satellitendaten aus den Jahren 1979 bis 2018 mithilfe künstlicher Intelligenz. Demnach gefährden Windwurf, Waldbrände, Insektenplagen oder eine Kombination mehrerer dieser Faktoren zunehmend die Wälder Europas. Zum einen dürften solche Ereignisse mit dem Klimawandel häufiger und heftiger werden, zum anderen werden Bäume durch Hitze und Dürre anfälliger für die Schäden. Die Erkenntnisse könnten sich nutzen lassen, um die Wälder so umzugestalten, dass sie den Folgen des Klimawandels besser widerstehen können.

www.mpg.de/1650078

FLEDERMÄUSE IM AUFWIND

13

Fledermäuse sind die einzigen Säugetiere, die aktiv fliegen können. Manche Arten legen auf ihren nächtlichen Ausflügen über hundert Kilometer auf der Suche nach Nahrung zurück. Ein Team des Max-Planck-Instituts für Verhaltensbiologie in Radolfzell hat nun entdeckt, dass Europäische Bulldoggfledermäuse Aufwinde für ihre Steigflüge nutzen. Die Forschenden haben die Fledermäuse mithilfe von Mini-GPS-Sendern verfolgt und die Flugdaten anschließend mit Wetterdaten verknüpft. Die Auswertung der GPS-Daten hat ergeben, dass die Fledermäuse häufig dem natürlichen Verlauf der Landschaft folgen und dieselbe Höhe über dem Boden halten. Hin und wieder jedoch schießen sie in die Höhe und steigen 300 bis 800 Meter auf, eine

Fledermaus erreichte sogar den Spitzenwert von fast 1700 Metern über dem Erdboden. Die genaue Analyse der Flugrouten ergab, dass die Tiere vermutlich die Aufwärtsbewegung der Luft nutzen, wenn diese auf Hindernisse wie Gebirge trifft. Die Flügel von Fledermäusen sind jedoch – anders als die mancher Vögel – nicht für ausgedehnte Gleitflüge gemacht. Die Tiere stürzen deshalb auch gleich nach dem Steigflug wieder Richtung Boden. Sie erreichen aus eigener Kraft Fluggeschwindigkeiten von bis zu 135 Kilometern pro Stunde – ein Wert, der im Tierreich nur von Vögeln im Sturzflug übertroffen wird. Der Antrieb dafür stammt ausschließlich aus den bloß zwei Zentimeter langen Brustmuskeln.

www.mpg.de/16369567

Colibactin produzierende *E. coli*-Bakterien (grün) verursachen Schäden an der DNA (weiß) von Zellen (rot) der Darmschleimhaut. Die Zellkerne sind blau dargestellt.

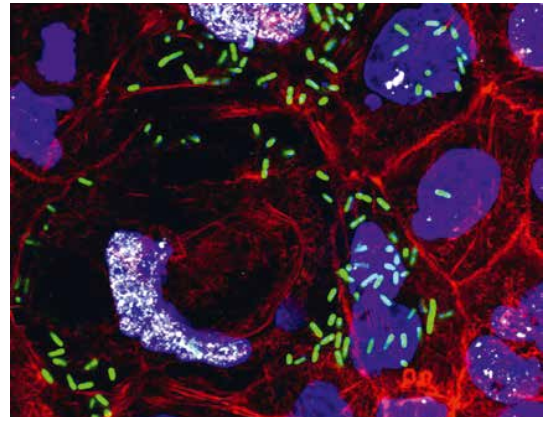


BILD: MPI FÜR INFektionsBIOLOGIE/AMINA IFTEKHAR

DER MENSCH MACHT MÄUSE SCHLAUER

Fans von Tom und Jerry wissen es schon lange: Wenn eine Maus im Haus überleben möchte, muss sie besonders gewitzt sein. Forschende des Max-Planck-Instituts für Evolutionsbiologie in Plön haben dies nun wissenschaftlich untermauert. Demnach können Nager, die schon lange Zeit in der Nähe von Menschen leben, besser Probleme lösen als Artgenossen fernab menschlicher Siedlungen – ein Phänomen, das auch von Vögeln bekannt ist. Die Wissenschaftler haben das Verhalten dreier Unterarten der Hausmaus untersucht, die seit 3000, 8000 und 11000 Jahren in

menschlicher Umgebung leben und sich daran anpassen mussten. Die Versuchsergebnisse zeigen, dass die Mäuse mit der längsten Bindung an den Menschen Probleme am besten lösen. Der Befund lässt sich nicht durch Persönlichkeitsmerkmale wie Neugier, Motivation oder Beharrlichkeit erklären, sondern nur durch Unterschiede in den geistigen Fähigkeiten. Da die untersuchten Mäuse seit mehreren Generationen im Labor der Forschenden leben, müssen die Nager die verbesserten geistigen Fähigkeiten geerbt haben.

www.mpg.de/16442871

GIFT AUS DER DARMFLORA

Escherichia coli-Bakterien gehören zur natürlichen Darmflora des Menschen. Einige Stämme produzieren jedoch ein das Erbgut schädigendes Gift namens Colibactin, das im Verdacht steht, Darmkrebs zu verursachen. Diesen Zusammenhang zu belegen, ist bislang jedoch noch nicht gelungen. Ein Forschungsteam des Max-Planck-Instituts für Infektionsbiologie in Berlin hat Colibactin nun quasi dabei ertappt, wie das Gift die DNA der Darmzellen so verändert, dass diese sich wie Krebszellen verhalten. Die Forschenden haben aus Stammzellen des Dickdarms dreidimensionale, hohle Miniorgane gezüchtet, sogenannte Organoide. In Anwesenheit Colibactin produzierender Bakterien begannen sich die Zellen bereits nach wenigen Stunden schneller zu vermehren – und das ohne die Anwesenheit eines Wachstumsfaktors, ohne den sich die Zellen normalerweise nicht teilen. Dieses unkontrollierte Wachstum ist eine Vorstufe von Krebs. Die Analyse des Erbguts der Organoide ergab, dass Colibactin zahlreiche Mutationen der DNA hervorruft, darunter auch solche, bei denen ganze Abschnitte von Chromosomen umgebaut werden oder verloren gehen.

www.mpg.de/16411957

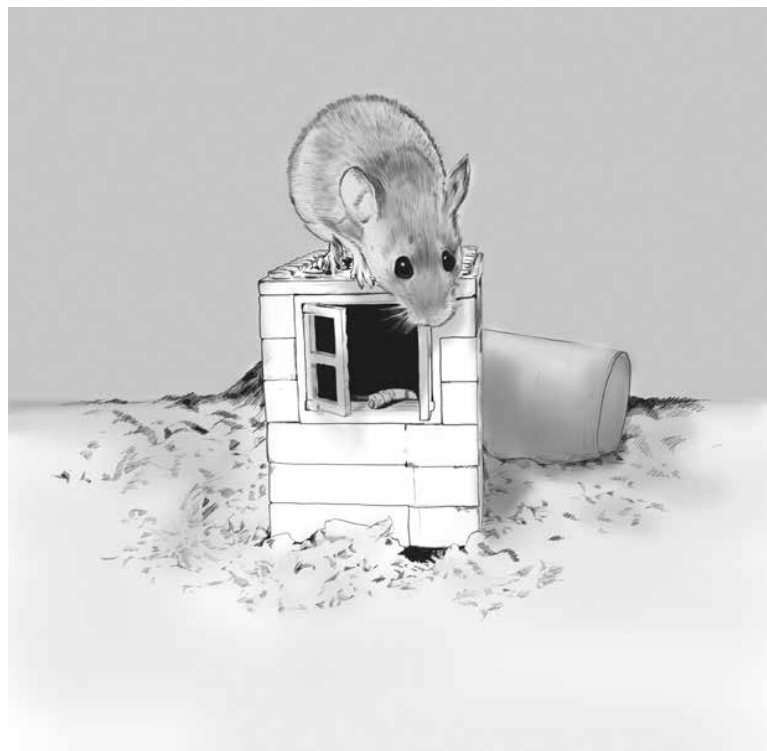


ILLUSTRATION: HENNING BRUER

In einem Verhaltensexperiment mussten Mäuse ein kleines Fenster öffnen, um an einen Leckerbissen zu kommen. Tiere, deren Vorfahren schon lange in der Nähe von Menschen lebten, schafften die Aufgabe deutlich besser.

MAGNETFELDER AM RAND EINES SCHWARZEN LOCHS

Das erste Bild eines schwarzen Lochs ging im April 2019 um die Welt. Es zeigt einen hellen Ring mit einer dunklen, zentralen Region im Herzen der 55 Millionen Lichtjahre entfernten Galaxie M87. Die Messdaten dafür hatten die über den Globus verteilten Antennen des Event Horizon Telescope (EHT) gesammelt. Die Forschenden, unter anderem aus dem Bonner Max-Planck-Institut für Radioastronomie, arbeiteten in den vergangenen Monaten weiter an der Auswertung – und setzten den Daten im Computer gleichsam eine Sonnenbrille mit polarisierten Gläsern auf. Dadurch entdeckten sie, dass ein signifikanter Anteil der Radiostrah-

lung um das kosmische Massemonster in der Tat polarisiert ist, also in eine Richtung schwingt. Ursache der Polarisation sind die magnetischen Felder in unmittelbarer Umgebung des schwarzen Lochs. Die Abbildung mit Polarisationsfilter zeigt nun den Verlauf der magnetischen Feldlinien. Die Region ist vor allem deshalb interessant, weil aus ihr ein energiereicher Jet entspringt, ein mehrere Zehntausend Lichtjahre langer Gasstrom, bei dessen Entstehung offenbar Magnetfelder eine Rolle spielen. Die Beobachtungen sollen helfen, den Mechanismus dahinter aufzuklären.

www.mpg.de/16622687

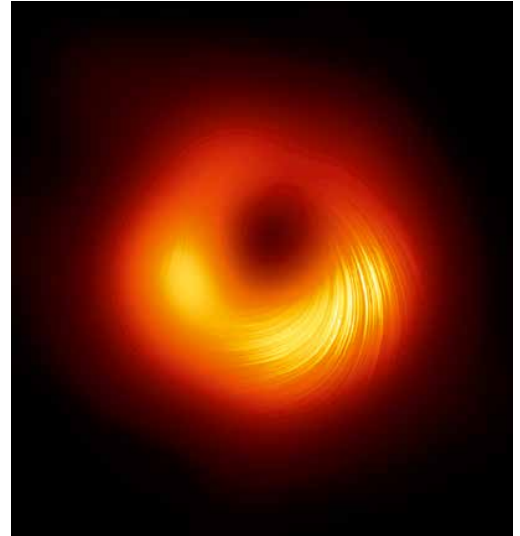


BILD: EHT-KOLLABORATION

Magnetische Schwerkraftfalle: In dieses Bild vom Schatten des schwarzen Lochs im Zentrum der Galaxie M87 wurden die geschwungenen Polarisations-Feldlinien eingetragen, welche den Verlauf des Magnetfelds anzeigen.

ANZEIGE

DESIGNED FOR SPEED



Revolutionary innovation for truly high-speed research and development needs

TMX 7510

76,000 fps at 1280 x 800 pixels

308,820 fps at 640 x 384 (Binned Mode)

- Back side illuminated sensor technology
- See more – larger resolutions at high frame rates
- Binning for a more rectangular resolution
- Very light sensitive
- Up to 772,000 fps, 1 μ s
- Up to 1.75 million fps, 95ns with FAST option

HSVISION
the speedcam company

Phantom Exclusive Distribution in DACH

www.hsvision.de

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

KOOPERATION NACH VORBILD

„Zusammen gegen Corona“ lautet das Motto im Kampf gegen die Pandemie. Schließlich lässt sich diese vorerst am besten eindämmen, wenn alle Abstand halten, Maske tragen und Kontakte reduzieren. Die Versuchung, für sich eine Ausnahme zu machen, ist allerdings groß. Es reicht ja, wenn die anderen die Regeln befolgen – oder? So sehr wir auf Kooperation angewiesen sind, so sehr gefährden Egoismen die gemeinsamen Ziele. Unter welchen Bedingungen Menschen trotzdem erfolgreich kooperieren, erklärt der Ökonom Matthias Sutter.

Wenn ich über den Wert von Kooperation spreche und meine eigenen Forschungsarbeiten zu diesem Thema in der Öffentlichkeit präsentiere, beginne ich gerne mit einer alten chinesischen Parabel. Sie veranschaulicht aus meiner Sicht sehr gut, worin die Vorteile von Kooperation liegen, aber auch, warum Kooperation scheitern kann. Die Parabel lautet so:

Zwei Brautleute hatten nicht viel Geld, aber dennoch waren sie der Meinung, dass bei ihrer Hochzeit viele Menschen mitfeiern sollten. Geteilte Freude ist doppelte Freude, dachten sie. Sie beschlossen, ein großes Fest mit vielen Gästen zu feiern. Um dies zu ermöglichen, baten sie die Eingeladenen, je eine Flasche Wein mitzubringen. Am Eingang würde ein großes Fass stehen, in das sie ihren Wein gießen könnten; und so sollte jeder die Gaben des anderen trinken und jeder mit jedem froh und ausgelassen sein. Als nun das Fest eröffnet wurde, liefen die Kellner zu dem großen Fass und schöpften daraus. Doch wie groß war das Erschrecken aller, als sie merkten, dass nur Wasser darin war. Versteinert saßen oder standen sie da, als ihnen bewusst wurde, dass jeder gedacht hatte: Die

→

ZUR SACHE

MATTHIAS SUTTER



Matthias Sutter studierte zunächst Katholische Theologie bis zum Diplom und dann Volkswirtschaftslehre an der Universität Innsbruck, wo er 1999 in VWL promovierte und sich 2002 habilitierte. Nach Professuren in Innsbruck, am Europäischen Hochschulinstitut in Florenz sowie in Köln wurde er 2017 Direktor am Max-Planck-Institut zur Erforschung von Gemeinschaftsgütern in Bonn. In seiner experimentellen Labor- und Feldforschung beschäftigt er sich vor allem mit den Determinanten von Kooperation, mit der Bedeutung von Geduld und dem ökonomischen Entscheidungsverhalten von Kindern und Jugendlichen. In der Öffentlichkeit wurde er vor allem durch seine Forschung zur positiven Wirkung von Quotenregelungen auf die Wettbewerbsbereitschaft von Frauen bekannt und durch sein Buch *Die Entdeckung der Geduld*, das in Österreich mehrere Wochen auf den Bestsellerlisten stand.

ILLUSTRATION: SOPHIE KETTERER FÜR MPG

eine Flasche Wasser, die ich hineingieße, wird niemand merken oder schmecken. Und heute will ich mal auf Kosten anderer feiern.

Die Parabel bringt das Problem von Kooperation in sozialen Gruppen präzise auf den Punkt. Jeder ist versucht, seinen Beitrag zur Gruppe möglichst gering zu halten (also billiges Wasser statt teuren Wein mitzubringen), hofft aber, dass alle anderen einen möglichst großen Beitrag leisten (also Wein statt Wasser beisteuern). Wenn jeder so handelt, kann das Gemeinwohl nicht gedeihen – so wie das Fest in der Parabel sprichwörtlich ins Wasser fällt. Wenn aber jeder etwas beiträgt, können alle davon profitieren – und ein schönes Fest feiern.

**ES GIBT VIELE
MOTIVE, NUR
EINEN GERINGEN
ODER GAR KEINEN
BEITRAG ZUM
GEMEINWOHL
ZU LEISTEN**

Die Parabel von der Hochzeitsfeier lässt sich auf viele Lebensbereiche übertragen. Fußballteams sind nachweislich erfolgreicher, wenn jeder Spieler für den anderen rennt, also zusätzliche Laufwege in Kauf nimmt, um Fehler anderer auszubügeln. Forscherteams bringen ihre Projekte eher zu einem guten Ende, wenn sich alle an der Projektarbeit beteiligen und nicht darauf vertrauen, dass ein anderer die mühsamen Arbeitsschritte übernehmen wird. Unternehmenskooperationen sind erfolgversprechender, wenn die Beteiligten Forschungs- und Entwicklungsanstrengungen koordinieren. Arbeitsteams funktionieren besser, wenn wichtige

Informationen geteilt und rasch weitergegeben werden. Die Liste ließe sich fast endlos lange fortführen und umfasst in Zeiten wie diesen nicht zuletzt die Forschungsk Kooperationen bei der Entwicklung neuer Impfstoffe oder Behandlungsmethoden gegen Covid-19. Selbst der Versuch, die Pandemie durch Social Distancing einzudämmen, kann ausschließlich durch die Kooperation aller Betroffenen gelingen.

Aus der Vogelperspektive betrachtet, ist der Nutzen von Kooperation in den genannten Beispielen für alle Beteiligten relativ leicht erkennbar. Und doch gibt es aus Sicht einer einzelnen Person vielfach Motive, sich als sogenannter Trittbrettfahrer zu verhalten und in den jeweiligen Situationen nur einen geringen oder gar keinen Beitrag zum Gemeinwohl zu leisten. Denn schließlich profitiert man häufig von der Kooperation anderer – selbst wenn man sich selbst wenig kooperativ verhält (und etwa seinen Teil der Teamarbeit länger liegen lässt als andere oder im Falle von Unternehmenskooperationen nicht alle relevanten Informationen weitergibt). Dieses Spannungsverhältnis zwischen Eigennutz und dem Vorteil wechselseitiger Kooperation ist charakteristisch für eine Situation, die oft als soziales Dilemma bezeichnet wird. Wie entwickelt sich also menschliche Kooperationsbereitschaft, und wovon hängt sie ab?

DASS JEDER
DEN VORTEIL
VON KOOPERATION
KENNT,
REICHT NICHT.
ES BRAUCHT
EINEN
AUSTAUSCH
DARÜBER

Es zeigt sich, dass Kooperation schon bei Kindern sehr gut funktioniert. In unseren Experimenten, an denen Drei- bis Sechsjährige beteiligt waren, konnten wir feststellen, dass bereits kleine Kinder verstehen, dass sie von wechselseitiger Kooperation in einer Gruppe profitieren. Kinder, die andere beim Kooperieren beobachten, verhalten sich selbst kooperativer. Das gilt insbesondere in wiederholten Interaktionen. Wenn ein Kind in der Vergangenheit gute Erfahrungen mit einem anderen Kind gemacht hat, dann verhält es sich auch selbst in der Zukunft gegenüber diesem Kind eher kooperativ. Neben der konkreten Erfahrung mit einem anderen Kind reicht aber sogar schon die Erwartungshaltung aus: Wer von anderen Kindern Kooperation erwartet, ist auch selbst kooperativer, selbst wenn die anderen Kinder ihre Kooperationsbereitschaft noch nicht bewiesen haben. Es scheint außerdem ein Zusammenhang mit dem Kooperationsniveau der jeweiligen Eltern zu bestehen. Kooperativere Eltern haben kooperativere Kinder. Mit zunehmendem Bildungsgrad der Eltern steigt zudem die Kooperationsbereitschaft der Kinder. Das scheint auch damit zu tun zu haben, dass für besser gebildete Eltern Kooperation häufiger die Norm für soziales Verhalten ist, was sich dann im Verhalten der Kinder widerspiegelt.

Unabhängig vom Alter hat die Kommunikation zwischen Gruppenmitgliedern wohl die größte Bedeutung für Kooperation. Es reicht nicht, dass jedes Mitglied über den Vorteil wechselseitiger Kooperation Bescheid weiß. Es braucht auch einen Austausch darüber. In verhaltensökonomischen Studien kann man beispielsweise erkennen, dass sich die Kooperation in Gruppen nicht dadurch erhöht, dass man jedem Mitglied vor der Interaktion ein Demo-Video über die Vorteile von Kooperation zeigt. Erst wenn die Mitglieder darüber sprechen und die Vor- und Nachteile bestimmter Verhaltensweisen diskutieren können, steigt die Kooperation an. In solchen Gesprächen wird dann nicht nur der Wert wechselseitiger Kooperation thematisiert, sondern es wird auch an soziale Fairnessnormen appelliert. Das bedeutet konkret, dass es als unfair und unsozial bezeichnet wird, wenn sich jemand als Trittbrettfahrer verhält (und Wasser statt Wein beiträgt). Dieser Appell an soziale Normen während des gemeinsamen Gesprächs und die wechselseitige Versicherung, dass Kooperation für alle das beste Ergebnis ermöglicht, verändern die Erwartungen an die Kooperation der anderen Gruppenmitglieder und erhöhen dadurch die Kooperationsbereitschaft.

Appelle nützen sich aber über die Zeit hinweg ab, weshalb auch Anreizmechanismen als wirksame Instrumente für Kooperation eingesetzt werden

—>

BEI KONSTANTEN BELOHNUNGEN SINKT MIT DER ZEIT DIE BEREIT- SCHAFT ZU KOOPERIEREN

müssen. Konkret kann Kooperation belohnt oder Trittbrettfahrerverhalten sanktioniert werden. Dabei spielt es keine so große Rolle, ob diese (positiven und negativen) Anreize von Gruppenmitgliedern selbst oder von Personen außerhalb der Gruppe gesetzt werden. Die verhaltensökonomischen Ergebnisse suggerieren im Übrigen, dass Sanktionsmöglichkeiten auf Dauer besser wirken als Belohnungsmöglichkeiten. Das liegt an einer leicht übersehenen Asymmetrie. Mögliche Sanktionen wirken auch dann disziplinierend, wenn sie nicht angewendet werden, solange es glaubwürdig bleibt, dass Trittbrettfahrerverhalten bestraft werden kann.

Belohnungsmöglichkeiten müssen angewendet werden, damit sie wirken. Wenn das passiert, treten aber Gewöhnungseffekte ein, die typisch menschlich sind, weil ein gewisses Belohnungsniveau bald als normal – und aus Sicht des Einzelnen wohlverdient – erscheint. Deshalb zeigt sich in Studien, dass das Kooperationsniveau bei konstanten Belohnungen über die Zeit hinweg wieder sinkt. Dazu passt auch die Evidenz, dass die Produktivität in Unternehmen durch die Einführung von Bonuszahlungen anfänglich steigt, im Laufe von meist zwei Jahren aber auf das gleiche Niveau wie vor der Einführung von Bonuszahlungen sinkt.

Abschließend möchte ich die Bedeutung eines Faktors beleuchten, der mehrere Jahre im Zentrum meiner eigenen Forschung zur Kooperation stand. Konkret habe ich mich damit beschäftigt, inwiefern Kooperation davon abhängt, ob jemand in einer Gruppe mit gutem Beispiel vorangeht. Wir haben das als die Bedeutung von „Leadership“ bezeichnet. Methodisch haben wir diesen Faktor in Laborexperimenten untersucht, die ein klassisches soziales Dilemma abbilden. Das bedeutet, dass sich in unseren Laborstudien jede einzelne Person finanziell besserstellen konnte, wenn sie nicht kooperierte. Gleichzeitig aber ging es der gesamten Gruppe am besten, wenn alle vollständig kooperierten. Auf das Beispiel der chinesischen Parabel vom Anfang dieses Beitrags übertragen, heißt das: Allen geht es am besten, wenn jeder eine Flasche Wein mitbringt, damit alle feiern können. Jeder Einzelne aber spart sich die Kosten für den Wein, wenn er selbst nur Wasser ins Fass schüttet, beim Fest aber den geringfügig verdünnten Wein der anderen trinken kann.

In unseren Studien hat mich interessiert, ob die Bereitschaft zur Kooperation steigt, wenn ein Gruppenmitglied zuerst über seinen Beitrag – das Ausmaß der Kooperation – entscheidet, die anderen diesen Beitrag sehen und dann selbst entscheiden. Beispielhaft kann man sich vorstellen, dass alle Hochzeitsgäste zuschauen, wenn die erste Person ihre Flasche

IN TEAMS MIT
EGOISTISCHEN
VORGESETZTEN
TRAGEN DIE
MITGLIEDER MÖG-
LICHST WENIG BEI

in das Fass schüttet, und dabei beobachten können, ob es Wasser oder Wein ist. Erst dann entscheiden sie, ob sie selbst Wasser oder Wein beisteuern wollen.

Alle unsere Ergebnisse zeigen, dass die Kooperation in Gruppen substanz-
ziell höher ist, wenn ein Gruppenmitglied oder mehrere mit gutem Bei-
spiel vorangehen. Andere Gruppenmitglieder passen sich an kooperatives
Verhalten anderer an. Man nennt das in den Wirtschaftswissenschaften
„konditionale Kooperation“. Das bedeutet, Menschen sind bereit zu koope-
rieren (Wein mitzubringen), wenn sie sehen oder zumindest erwarten,
dass auch andere kooperieren. In den vergangenen Jahren
ist die Bedeutung konditionaler Kooperation in Studien aus
der ganzen Welt bestätigt worden. Man könnte hier fast
schon von einem globalen Verhaltensmuster sprechen, das
sich – je nach Studie – bei ungefähr 30 bis 50 Prozent
der Probanden erkennen lässt.

Leadership wirkt insbesondere aufgrund von konditionaler
Kooperation. Ganz besonders stark wirkt vorbildliches
Handeln, wenn es freiwillig erfolgt. Der Nachahmungseffekt
funktioniert nicht, wenn jemand gezwungen wird, kooperativ
zu sein. Und wenn jemand mit schlechtem Beispiel voran-
geht, bricht die Kooperation im Team vollkommen zusam-
men – niemand will sich von Trittbrettfahrern ausnützen
lassen. Eine besondere Rolle kommt dabei aufgrund hierarchischer Orga-
nisationsformen den jeweiligen Vorgesetzten zu. Deren kooperatives
Verhalten verursacht besonders starke Nachahmung. In Teams mit egoisti-
schen Vorgesetzten, die Kooperation zwar häufig von anderen erwarten,
aber selbst als Trittbrettfahrer agieren, tragen die Teammitglieder dagegen
so wenig wie möglich zum gemeinsamen Erfolg bei, weil sie sich sonst
ausgenützt fühlen. Führung funktioniert nur durch beispielhaftes Verhalten,
wie schon Mahatma Gandhi wusste, der einmal sagte: „Wir selbst müssen
den Wandel vorleben, den wir von der Welt erwarten.“ Die Kehrseite die-
ser Einsicht besteht darin, dass Kooperation in Gruppen durch das
schlechte Beispiel einer prominenten Person innerhalb einer Gruppe sehr
stark beeinträchtigt werden kann. Darum ist es auch so bedeutsam,
was Teamleiterinnen und Teamleiter, Direktorinnen und Direktoren oder
allgemein Personen mit Führungsverantwortung jeden Tag vorleben.



*Einen Videomitschnitt eines Gesprächs zwischen
Matthias Sutter und dem Autor Marc Elsberg zum Thema
Kooperation finden Sie unter www.mpg.de/wtlles*

IM FOKUS

LEBEN MIT EXTREMEN

22 | Von Katastrophen gezeichnet

28 | Algenblüte im Wüstensand

34 | Vorhersehbarer Klimastress

Vulkan in Pop-Art:
Andy Warhol
fertigte 1985 für
eine Ausstellung in
Neapel eine Serie
mit Vesuv-Bildern.

BILD: ANDY WARHOL, MUSEO E REAL BOSCO DI CAPODIMONTE, NEAPEL



VON KATASTROPHEN GEZEICHNET

TEXT: MARC PESCHKE

23

Eindrucksvoll thront der Vulkankegel des Vesuv über Neapel – Wahrzeichen und Schicksalsberg der süditalienischen Metropole. Über Jahrhunderte haben seine Ausbrüche ebenso wie Erdbeben hier ihre Spuren hinterlassen. Wie sie die Kunst und Architektur der Stadt geprägt haben, untersucht Elisabetta Scirocco, Wissenschaftlerin an der Bibliotheca Hertziana, dem Max-Planck-Institut für Kunstgeschichte in Rom.

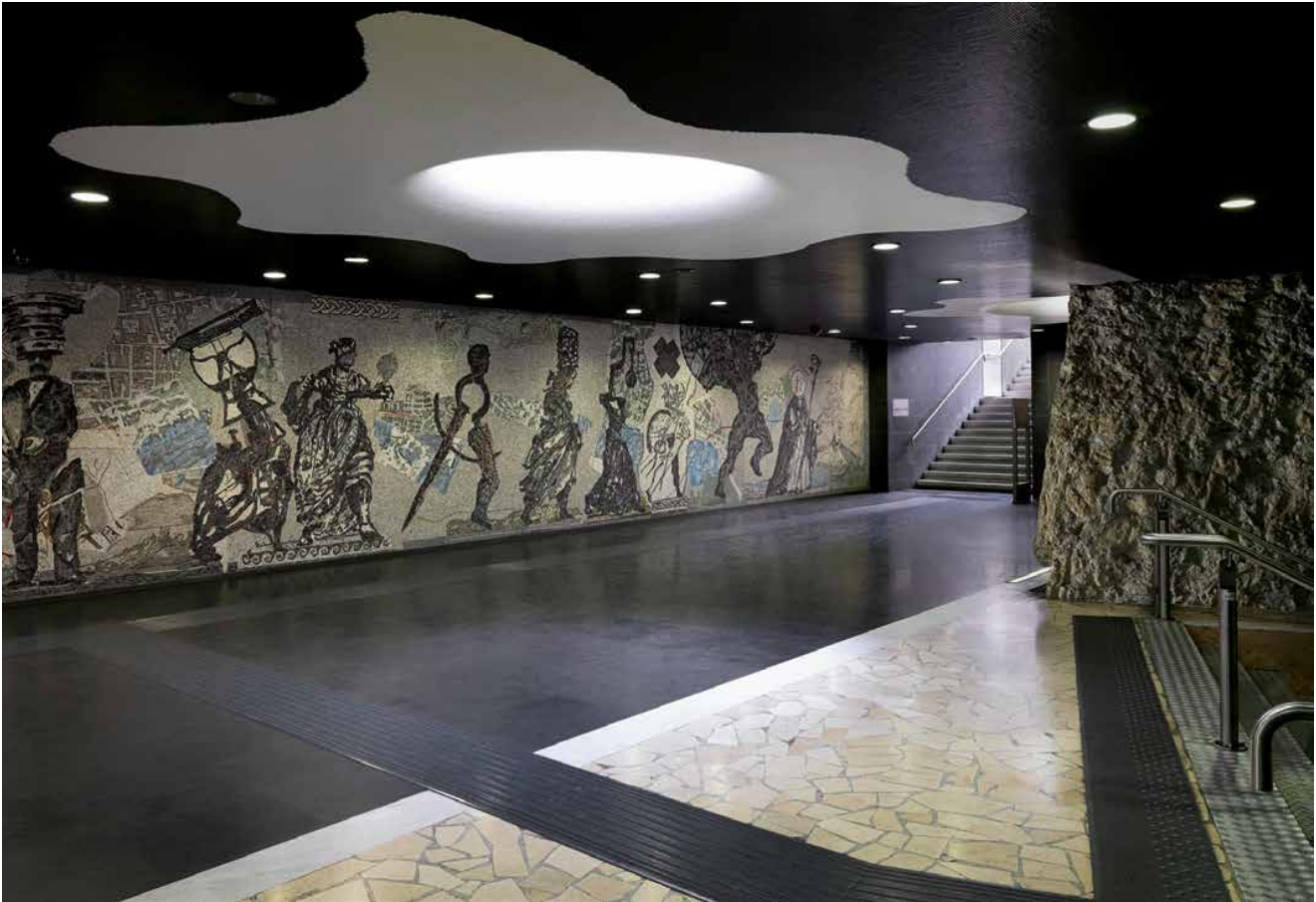


FOTO: PEDICINI FOTOGRAFI, NEAPEL / BIBLIOTHECA HERTZIANA, MPI FÜR KUNSTGESCHICHTE

24

Künstlerisch gestaltete Station: Ein Mosaik des südafrikanischen Künstlers William Kentridge ziert seit 2012 die U-Bahn-Haltestelle Toledo in Neapel. Zu sehen sind Figuren aus der neapolitanischen Geschichte, die in einer Prozession in Richtung des rauchenden Vesuv ziehen.

Für die neapolitanische U-Bahn-Station Toledo hat der südafrikanische Künstler William Kentridge 2012 ein ganz außerordentliches Werk geschaffen. Das großformatige Mosaik *Central Railway for the City of Naples, 1906 (Naples Procession)* zeigt eine Prozession verschiedener Figuren aus der Geschichte der Stadt. Diese wird angeführt vom Schutzpatron Neapels, San Gennaro, neben dem der rauchende Vesuv dargestellt ist – unschädlich gemacht durch den Schutz des Heiligen. Das international bekannt gewordene Kunstwerk in der Eingangshalle des U-Bahnhofs – Teil einer ganzen Reihe künstlerisch gestalteter Stationen in der neapolitanischen U-Bahn – ist äußerst faszinierend. Nicht nur als Werk der zeitgenössischen Kunst, sondern auch, weil es vielfältige Bezüge zur Stadt Neapel und ihrer Geschichte bündelt. „Reisende, die vorbeikommen“, erklärt die neapolitanische Kunsthistorikerin Elisabetta Scirocco, „nehmen an der Prozession teil, in der Kentridge die gesamte Stadt-, Kunst- und Kulturgeschichte Neapels von ihren griechisch-römischen Ursprüngen bis zur Gegenwart verdichtet hat.“

San Gennaro an der Spitze, ein christlicher Märtyrer, der in Pozzuoli bei Neapel enthauptet wurde, ist für die

Neapolitaner von besonderer Bedeutung. Der Kopf des Heiligen und einige Tropfen Blut, so Scirocco, sind die wertvollsten Reliquien, die seit dem Mittelalter in der Stadt Neapel aufbewahrt werden. An den drei jährlichen Festen zu Ehren des Heiligen warten die Neapolitaner auf das „Blutwunder“. Man hofft darauf, dass sich das Blut des Stadtpatrons verflüssigt – im Volksglauben ein gutes Omen für die Zukunft der Stadt. Durch die Jahrhunderte hindurch wurden die Reliquien in Zeiten größter Gefahr immer wieder in Prozessionen zur Schau gestellt, um drohende Naturkatastrophen zu verhindern. „Das ist ein gutes Beispiel dafür, wie sich Katastrophen in die Geschichte eines Ortes einschreiben“, sagt Scirocco. „Nicht nur in die Vergangenheit, sondern auch in die Gegenwart und in die Zukunft.“ So zitiert das kraftvolle Bild von Kentridge nicht nur die Geschichte, sondern spielt auch auf die Bedrohung an, die immer, bis heute, über der Stadt Neapel schwebt.

Katastrophen schreiben Geschichte. Und schon sind wir mittendrin in Elisabetta Sciroccos Themenfeld. „Neapel und die Naturkatastrophen: eine kunsthistorische Katastrophenforschung“ – lautet ihr Forschungsprojekt an der Bibliotheca Hertziana, dem

Max-Planck-Institut für Kunstgeschichte in Rom. Hier wurde unter der Leitung von Tanja Michalsky, Direktorin am Institut, ein Forum für neue Forschungen zu Neapel geschaffen, zu dem auch der Forschungsbereich „Neapel als Palimpsest“ gehört. „Palimpsest“ ist eigentlich der Fachausdruck für Pergamente, die im Mittelalter abgeschabt oder abgewaschen und danach neu beschrieben wurden. Übertragen auf Neapel bedeutet das: Durch die Geschichte der Stadt zieht sich als Konstante die immerwährende Veränderung: Konstruktion, Rekonstruktion, Zerstörungen durch Kriege und Naturkatastrophen sind fundamentaler Teil der neapolitanischen und süditalienischen Geschichte.

Ein kollektives Trauma

Nur partiell und zufällig sei diese Überformung der Stadt, führt Scirocco im Zoom-Gespräch aus, auch sei Neapel im Laufe der Geschichte niemals ganz zerstört worden. „Ich betrachte den Palimpsest-artigen Charakter Neapels insbesondere unter dem Gesichtspunkt der Neuformulierung nach katastrophalen Ereignissen. Es geht nicht nur um die Zerstörung und Rekonstruktion von Bauwerken, sondern auch um die Schaffung von Wahrzeichen und Ritualen im Zusammenhang mit Katastrophen.“ Beispiele dafür sind der Wiederaufbau von Kultstätten und Repräsentationsbauten, aber auch die Entstehung neuer religiöser Kulte und deren Institutionalisierung. Wie der größte Teil des italienischen Territoriums sind Neapel und seine Umgebung erdbebengefährdet. Dazu kommt in unmittelbarer Nähe mit dem Vesuv und den Phlegräischen Feldern das gefährlichste Vulkangebiet Europas. Keine andere Stadt Italiens dieser Größe und kulturellen Relevanz war so regelmäßig katastrophalen Ereignissen ausgesetzt wie Neapel, das im 17. Jahrhundert

eine der am dichtesten besiedelten Städte Europas war. Der Vesuvausbruch des Jahres 79 habe sich als Urkatastrophe tief in das historische Gedächtnis der Stadt eingeschrieben, erläutert Elisabetta Scirocco. Damals wurden die antiken Städte Pompeji und Herculaneum unter einer bis zu 20 Meter dicken Schicht aus Asche und Gestein verschüttet, schätzungsweise 5000 Menschen starben. Vom 14. bis ins 20. Jahrhundert gab es in Neapel immer wieder starke Erdbeben, doch der Vesuv verhielt sich lange Zeit recht ruhig. Mitte des 16. Jahrhunderts galt er sogar als erloschen.

Doch 1631 kam es erneut zur Katastrophe. „Was damals mit dem Erwachen des Vesuv geschah, einem heftigen explosiven Ausbruch, der von Erdbeben begleitet wurde, war so etwas wie die Erfah-

rung des bevorstehenden Weltendes: die Erfahrung der absoluten Zerstörung“, berichtet Scirocco. „Das kollektive Trauma wurde in Texten und Bildern festgehalten und hatte enorme kulturelle und politische Auswirkungen auf lokaler Ebene und in ganz Europa.“ Naturkatastrophen wurden damals noch nicht aus wissenschaftlicher Sicht erklärt, sondern in einem religiösen Kontext, als Strafe Gottes, erläutert die Wissenschaftlerin. Aus diesem Grund waren Gebet, öffentliche Buße oder Prozessionen wesentlicher Bestandteil dessen, was Anthropologen „Notfallrituale“ nennen. So findet bis heute jedes Jahr am 16. Dezember in der Stadt ein Fest mit einer Prozession statt, in der die Reliquien des heiligen Gennaro mitgeführt werden – dieselben Reliquien, die 1631 in einer Prozession durch die Stadt in Richtung Vesuv getragen wurden. Der Legende nach erschien der Heilige am Himmel, als die Prozession am Rande der Stadt ankam, und stoppte den Ausbruch des Vulkans. An dieser Stelle wurde dem Heiligen ein Motivdenkmal errichtet. Viele der Städte und Dörfer um Neapel haben ihre eigenen künstlerischen und rituellen Erinnerungen an ihr Leben mit dem Vulkan. Der Ausbruch des Jahres 1631 hatte aber noch eine andere Auswirkung: Der Vesuv wurde zu einem dauerhaft präsenten Thema in der Kunst Neapels. Mit diesem Ereignis, so Scirocco, „ist der Vesuv in die Ikonographie der Stadt Neapel eingetreten“. Die Darstellungen der Stadt änderten sich nun, erweiterten sich und zeigten auch den Vulkan. Während des 18. und 19. Jahrhunderts führte das Interesse an seinen regelmäßigen Aktivitäten und Ausbrüchen zu einer riesigen Produktion von Gemälden, Zeichnungen und Studien am Vesuv. Neapel entwickelte sich zu einer der wichtigsten Stationen der Grand Tour – jener obligatorischen Reise junger europäischer Adelliger und des gehobenen Bürgertums durch Mitteleuropa, Italien, Spanien und ins Heilige Land. In Neapel war der Vulkan eine der Hauptattraktionen für die jungen Reisenden. All das führte dazu, dass sich die Stadt selbst mit dem Vulkan identifizierte. Gleichzeitig war und ist der Vesuv auch Sinnbild für die zerstörerischen Kräfte der Natur, wie 2019 etwa in der Ausstellung *Vesuvio quotidiano – Vesuvio universale* im Museum Certosa di San Martino in Neapel zu sehen war.

Trotzdem spielte die Bedrohung durch den Vulkan bislang kaum eine Rolle in der kunsthistorischen Forschung zu Neapel. Lange Zeit konzentrierte sich diese auf die Epochen des französischen Königsgeschlechts Anjou vom 13. bis zum 15. Jahrhundert sowie auf die Barockzeit mit den prunkvollen Kirchenausstattungen und der Malerei der Neapolitanischen Schule vom 16. bis zum 18. Jahrhundert. Auch wurde die neapolitanische Renaissance unter dem Königshaus Aragon vorwiegend als kultureller Import bewertet und nicht als genuin neapolitanische Schöpfung. Diese Perspektive des 20. Jahrhunderts stellt die Forschergruppe an der Bibliotheca Hertziana infrage: das Bild eines gleichsam kolonialisierten Neapel, das darauf beruht,



AUF DEN PUNKT GEBRACHT

Erdbeben und Vulkanausbrüche prägen schon seit Jahrhunderten Kultur und Gesellschaft in Neapel.

Das zeigt sich in der Architektur in rekonstruierten und erneuerten Bauwerken, in der bildenden Kunst und ebenso in religiösen Ritualen.

Der Fokus auf Naturkatastrophen schafft eine ganz neue kunsthistorische Perspektive auf die vielschichtige kulturelle Entwicklung der Stadt.

dass die Stadt von verschiedenen fremden Dynastien beherrscht wurde. Auch wurde, so Scirocco, zu lange die Abhängigkeit Neapels von Kunstzentren wie Rom und Florenz betont. Ziel des „Neapel-Forums“ der Bibliotheca Hertziana ist es daher auch, diese tradierten und kanonisierten Forschungsergebnisse kritisch zu hinterfragen und gerade die Ortsgebundenheit und die spezifischen Merkmale neapolitanischer Kunstproduktion zu betonen.

Ein Geflecht verschiedener Zeitschichten

Insgesamt ist die kunsthistorische Forschung in Neapel allerdings schwieriger als anderswo. Das liegt an der, wie es der Autor und Philosoph Walter Benjamin bereits in den 1920er-Jahren nannte, „Porosität“ der Stadt. Das Poröse, das dichte Nebeneinander, das Verwachsen unterschiedlicher Architekturen aus verschiedenen Zeitschichten ähnelt einem Geflecht, einem lebendigen Organismus, als der Neapel im Laufe seiner Geschichte immer wieder beschrieben wurde. Die Altstadt Neapels, die 1995 zum Unesco-Weltkulturerbe erklärt wurde, ist ein Paradebeispiel für ein stark divergentes Gemeinwesen mit enormen sozialen Problemen, aber gleichzeitig einem fantastischen Bestand an Kulturgütern. Überall in Neapel schichten und überlagern sich die kulturhistorischen Zeugnisse aus griechischer und römischer Zeit und aus späteren Epochen. Ein besonders eindrückliches Beispiel für diese Überschreibungen aufgrund immer neuer Erdbeben ist die Kathedrale von Neapel – der *Duomo di Santa Maria Assunta* –, in der die Reliquien des neapolitanischen Stadtpatrons San Gennaro aufbewahrt werden. Der Dom, so Scirocco, vereinigt kunsthistorische Schichten von der Antike bis in das 19. Jahrhundert, was typisch für die Stadt ist.

Auch die barocke Kirche San Paolo Maggiore auf der Piazza San Gaetano ist ein hervorragendes Beispiel für die Veränderungen und Umformungen durch Naturkatastrophen. So waren hier – bis zum Einsturz nach dem Erdbeben des Jahres 1688 – größere Teile des römischen Tempels der Dioskuren erhalten. Die Fassade war, so Scirocco, jahrhundertlang die Kulisse für das städtische Leben: „An der Stelle der Piazza San Gaetano waren bereits in der Antike erst die griechische Agora und dann das römische Forum und damit das Herz des Stadtzentrums. Bis heute spielt sich dort das private und öffentliche Leben Neapels ab. Als die Fassade des römischen Tempels 1688 einstürzte, war auf einen Schlag die Szenerie zerstört, vor der das Stadtleben jahrhundertlang stattgefunden hatte. Der Einsturz wurde in Texten und Bildern immer wieder in Erinnerung gerufen. Bei der Rekonstruktion wurde beschlossen, nur zwei Säulen des Tempels zu erhalten, wobei eine Inschrift an das Erdbeben von 1688 erinnert.“ Sciroccos Forschungsgegenstand ist aber nicht

nur die Kunst des Mittelalters und der Vormoderne. Sie befasst sich auch mit dem 20. Jahrhundert wie etwa mit Andy Warhols 1985 entstandener Vesuv-Serie, einer Art Hommage an den Vulkan als Symbol Neapels, die das Thema des Vulkanausbruchs in die Sprache der Pop-Art übersetzt. Elisabetta Scirocco hat Warhols Werk des ausbrechenden Vulkans als „Synekdoche“ bezeichnet, als ein Bild, das seit dem katastrophalen Ausbruch von 1631 für die Stadt Neapel selbst steht. Joseph Beuys wiederum fertigte für den einflussreichen italienischen Galeristen Lucio Amelio ein irritierendes Werk, das 1981 in Neapel ausgestellt wurde: *Terremoto in Palazzo* ist eine Komposition aus vier fragilen, instabilen Holztischen, die nach dem Erdbeben geborgen wurden, aus Glassplittern am Boden und einem auf einem der Tische aufgestellten Ei. Ein Jahr danach, 1982, schuf Warhol die Arbeit *Fate presto*, basierend auf einer – stark vergrößerten – Titelseite der Zeitung *Il Mattino*.

Beide Arbeiten, jene von Beuys und von Warhol, gehören zu einer später als *Terrae Motus* bezeichneten Sammlung, die als Reaktion auf Lucio Amelios Aufruf an zeitgenössische Künstler entstand, Werke zum schrecklichen Erdbeben des Jahres 1980 zu kreieren. Damals hatten heftige Erdstöße die Region Irpinia rund 80 Kilometer östlich von Neapel erschüttert, mehr als 2700 Menschen kamen ums Leben, beinahe 400 000 verloren ihr Zuhause. „Die Erinnerung an das Erdbeben von 1980 und seine Folgen ist immer noch sehr präsent, ebenso wie sein medialer Nachhall, der von Warhol in ein Kunstwerk übersetzt wurde“, sagt Scirocco. „Das Datum selbst, der 23. November, ist jedem bekannt. Im vergangenen Jahr wurden zum 40. Jahrestag eine Reihe von Veranstaltungen, Debatten

Nah an der Gefahr: Die Gegend rund um den Vesuv ist dicht besiedelt. Die Satellitenaufnahme zeigt die wenigen unbebauten Gebiete in Rot.

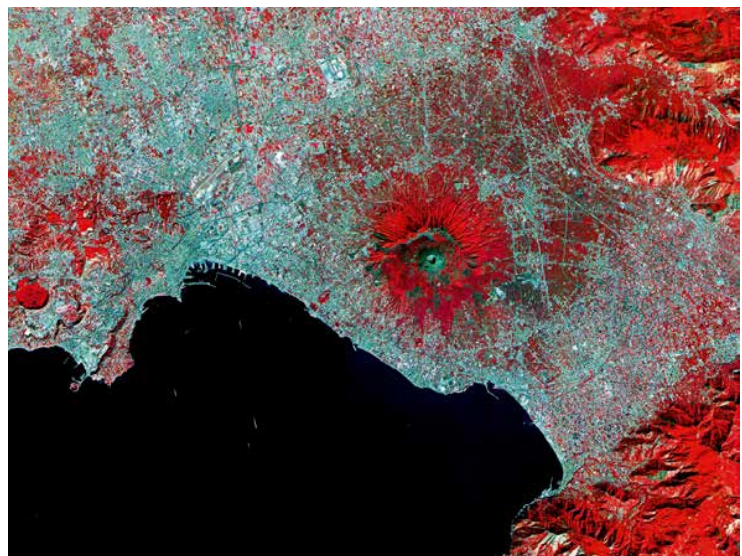
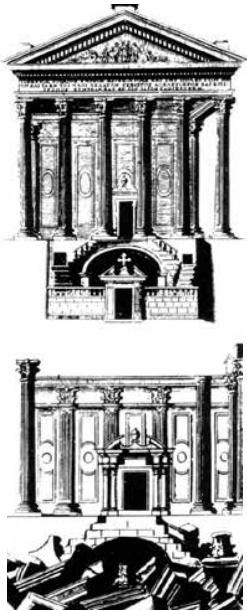


FOTO: NASA/GSFC/MITI/ERSDAC/JAROS & U.S./JAPAN ASTER SCIENCE TEAM

Fokus auf Naturkatastrophen: Elisabetta Scirocco erforscht an der Bibliotheca Hertziana die Kunstgeschichte ihrer Heimat Neapel.

ILLUSTRATION: CARLO CELANO, NOTIZIE DEL BELLO, DELL'ANTICO E DEL CURIOSO DELLA CITTÀ DI NAPOLI, NEAPEL 1692.



Vorher - nachher: Bis zum Erdbeben von 1688 lag die Kirche San Paolo Maggiore im Zentrum Neapels hinter der weitgehend erhaltenen Fassade des römischen Dioskurentempels (oben). Beim Wiederaufbau wurden nur zwei der antiken Säulen erhalten.



FOTO: KATARINA KRAVČIKOVÁ, BRNO

27

und Ausstellungen durchgeführt.“ So sind traumatische Katastrophen der Vergangenheit und die Gefahr der Wiederholung in der Zukunft Teil des kollektiven Gedächtnisses und der alltäglichen visuellen Erfahrung in der Stadt Neapel.

Der Vulkan als identitätsstiftendes Merkmal

Die historische Katastrophenforschung ist heute ein sehr produktives Forschungsgebiet, in dem die verschiedenen historischen Disziplinen mit denen der Sozial- und Naturwissenschaften in Dialog treten. Dieser transdisziplinäre Ansatz wurde 2014 am Kunsthistorischen Institut in Florenz, ebenfalls einem Max-Planck-Institut, entwickelt. Federführend waren neben Elisabetta Scirocco, die damals in Florenz forschte, Gerhard Wolf, Direktor am Institut, sowie Carmen Belmonte. Naturkatastrophen sind wiederkehrende Ereignisse in der Geschichte italienischer Städte und Landschaften – bis in die heutige Zeit, was die Aktualität der Forschung unterstreicht: Auch in

jüngster Vergangenheit haben Erdbeben in L'Aquila in den Abruzzen (2009), in der Emilia-Romagna (2012) und in Mittelitalien (2016/2017) gezeigt, wie aktuell das seismische Problem ist. Für die Forschung zu Neapel erweiterte Scirocco die Perspektive, vom Mittelalter ausgehend über die Vormoderne bis in die Gegenwart hinein. Im Projekt zur neapolitanischen Geschichte verbindet sie historische, seismologische und vulkanologische Forschung, Architekturgeschichte, Archäologie, Philologie, Wissenschaftsgeschichte, historische Anthropologie und Soziologie.

„Wir untersuchen aus einer historischen Perspektive über die Zeit hinweg den Umgang mit Katastrophen und das Leben mit dem Vulkan als identitätsstiftendem Merkmal der neapolitanischen Kunst und Kultur“, fasst Scirocco zusammen. „Die Rolle der Kunst in der Katastrophenforschung war bislang jedoch marginal und hauptsächlich auf die Darstellung von katastrophalen Ereignissen beschränkt. Für die Kunstgeschichte lässt sich hier ein Bereich mit großem Potenzial erschließen, der für einen Dialog über die Grenzen der Disziplinen hinweg offen ist.“

www.mpg.de/podcasts/extreme





Grenzregion zwischen Ägypten (links) sowie Gaza und Israel (rechts). Der Unterschied in den Schattierungen des Geländes in den nicht bebauten Gebieten spiegelt Veränderungen des Wüstenbodens auf der ägyptischen Seite wider. Die Grenze ist dadurch eine der wenigen, die sogar aus dem Weltraum sichtbar sind.

ALGENBLÜTE IM WÜSTENSAND

TEXT: KLAUS WILHELM

FOTO: SCIENCE PHOTO LIBRARY/PLANETOBSERVER

29

Trockenheit, Hitze, gleißende Sonne. Eine Wüste ist ein Lebensraum der Extreme. Wenn eine Pflanze hier überleben will, muss sie ganz schön was aushalten – erst recht, wenn sie eine Alge ist. Haim Treves untersucht zusammen mit Mark Stitt und seinem Team am Max-Planck-Institut für molekulare Pflanzenphysiologie in Potsdam-Golm, wie sich die Alge *Chlorella ohadii* an die extremen Bedingungen der Wüste angepasst hat.

„Wir haben zunächst geglaubt, unsere Messgeräte seien kaputt. Aber es lag nicht an den Instrumenten, sondern an der Alge.“

HAIM TREVES

Chlorella ohadii ist eine einzellige Grünalge, benannt nach ihrem Entdecker, dem 2016 gestorbenen Biochemiker Itzhak Ohad, Treves' langjährigem Mentor und Freund. Ohad war der Erste, der *Chlorella ohadii* isolierte. Bei seinen Untersuchungen hat er fundamentale Erkenntnisse über die Fotosynthese gewonnen. Zehn Jahre ist es mittlerweile her, dass Haim Treves als Doktorand an der Hebrew University in Jerusalem regelmäßig in der Wüste unterwegs war. Von seinen Exkursionen in die israelische Negev brachte der junge Wissenschaftler Proben der hauchdünnen Sandkruste mit, die den Wüstenboden bedeckt. „Fern der Küste hat die Kruste die Konsistenz von Cornflakes. Sie zerbricht mit einem sanft-krachenden Geräusch, wenn man darauf tritt. An der Küste, wo die Luft feuchter ist, fühlt sie sich dagegen an, als trete man auf einen Schwamm“, beschreibt Treves.

Die Kruste erscheint völlig leblos, tatsächlich beherbergt sie jedoch eine einzigartige Lebensgemeinschaft aus Mikroorganismen. Zum Beispiel Cyanobakterien – früher als „Blualgen“ bezeichnete Bakterien, von denen viele Fotosynthese betreiben und ihre Energie aus dem Licht der Sonne erhalten. Diese Bakterien wollten

Treves und seine Kollegen im Labor aus der Sandkruste isolieren und züchten. Doch jedes Mal tauchten in den Zellkulturen nach kurzer Zeit winzige grüne Punkte auf. „Wir haben natürlich zuerst gedacht, wir hätten nicht sauber genug gearbeitet und unsere Proben verunreinigt“, erzählt der Biologe. Aber sie konnten die grünen Punkte einfach nicht loswerden. Schließlich überzeugte Itzhak Ohad Treves davon, der Sache auf den Grund zu gehen. Treves identifizierte die Punkte als Kolonien der Grünalge *Chlorella ohadii*. „Ich bin ihm wirklich zu großem Dank verpflichtet,

30

Cyanobakterien der Gattung *Leptolyngbya* bilden unverzweigte Ketten. Sie kommen in den unterschiedlichsten Lebensräumen vor, etwa in Thermalquellen, in der Antarktis oder in Wüsten. In der Negev-Wüste leben die Einzeller in der Kruste, die den Boden bedeckt.

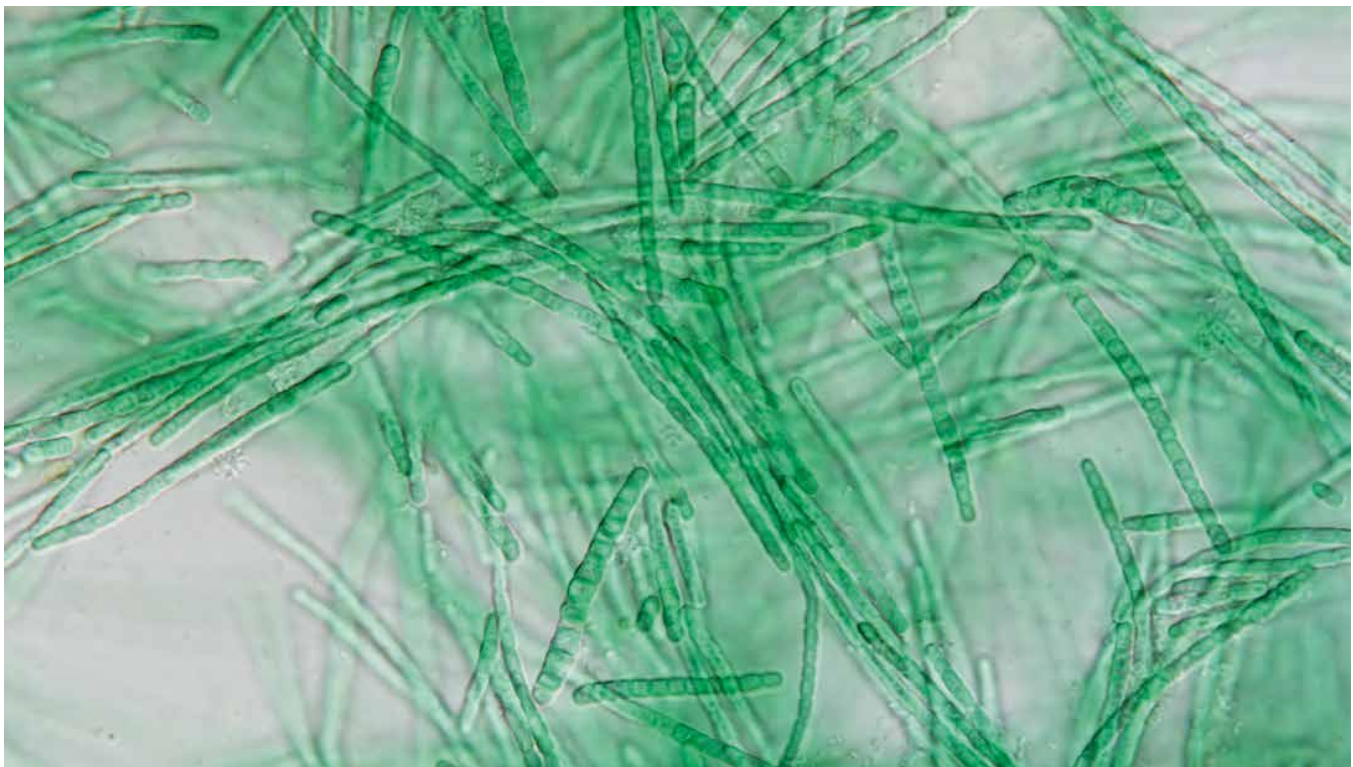


FOTO: CCALA



Grenze zwischen Israel (Vordergrund) und Ägypten. Während auf der israelischen Seite der Negev-Wüste im Frühling Blumen blühen, ist der ägyptische Teil weitgehend ohne Vegetation und von Sand bedeckt – eine Folge der Zerstörung der Bodenkruste durch Fahrzeuge und Überweidung.

Eine rund zwei Millimeter dünne Schicht bedeckt den Wüstenboden. Über viele Jahrzehnte hinweg haben Mikroorganismen Kohlenhydrate produziert, die mit dem Sand zu einer Cornflake-artigen Kruste verbacken sind. Diese speichert Wasser besser als reiner Sand und schützt den Boden vor Erosion und völliger Austrocknung.

und es macht mich sehr glücklich, dass sein Vermächtnis im Namen dieser Alge weiterlebt.“ Schnell erkannte Treves die ungewöhnlichen Fähigkeiten der Alge: Nicht nur, dass sie extremer Sonnenstrahlung mühelos trotzte – *Chlorella ohadii* wuchs sogar immer schneller, je mehr Licht die Forschenden auf sie einstrahlten. Selbst bei viermal so hoher Lichtintensität

wie in der Wüste wuchs der Einzeller weiter. „Wieder haben wir den Fehler bei uns vermutet und geglaubt, unsere Messgeräte seien kaputt“, berichtet Treves. „Aber es lag nicht an den Instrumenten, sondern an der Alge.“ *Chlorella ohadii* kommt nicht nur in einem der extremsten Lebensräume der Erde zurecht, sie ist auch einer der am schnellsten wachsenden Organismen überhaupt. Von der Entdeckung war auch Mark Stitt fasziniert. Der frühere Direktor am Max-Planck-Institut für molekulare Pflanzenphysiologie erforscht mithilfe modernster Technik die Fotosynthese. Er nutzt dafür wie die meisten seiner Kollegen Modellorganismen, zum Beispiel Ackerschmalwand (*Arabidopsis thaliana*), Spinat, Kartoffel oder Tomate, denn das Erbgut dieser Pflanzen ist entschlüsselt, und viele ihrer Stoffwechselwege sind bekannt. „Manchmal lohnt es sich aber, vertrautes Terrain zu verlassen, denn durch die Fokussierung auf einige wenige Arten übersieht man leicht, wie unterschiedlich sich Pflanzen an die Umwelt anpassen können. Und gerade unter extremen Bedingun-

gen entwickeln Pflanzen immer wieder unerwartete Fähigkeiten“, sagt Mark Stitt. So war es nur folgerichtig, dass Haim Treves nach seiner Doktorarbeit an das Max-Planck-Institut in Golm wechselte, um *Chlorella ohadii* weiter zu erforschen.

Das Leben der Alge ist geprägt von Extremen: Tagsüber wird es bis zu 60 Grad heiß, Sonne und Hitze trocknen den Boden aus. Nachts wiederum kann es Frost geben. Im Morgengrauen schlägt sich die wenige Feuchtigkeit der Luft als Tau auf dem Boden nieder. Nur für kurze Zeit nach Sonnenaufgang gibt es deshalb gerade so viel Wasser und Licht, wie *Chlorella* braucht, bevor wieder von dem einen zu wenig und von dem anderen zu viel vorhanden ist.

Vor allem die Fotosynthese der Alge ist optimal an solche Bedingungen angepasst. Eine wichtige Rolle bei der Umwandlung der Energie der Sonne in chemische Energie spielen Elektronen. Jedes Photon, das von den Chlorophyllmolekülen absorbiert wird, hebt ein Elektron in einen höheren Energiezustand. Diese energiereichen Elektronen liefern die Energie, um Wasser in Sauerstoff und Wasserstoffatome zu „spalten“. In der Wüste ist die Strahlung jedoch zu stark. „Dann kommt es im Fotosyntheseapparat zu einer zerstörerischen Überladung, einer Art Kurzschluss“, erklärt Mark Stitt. Außerdem kann bei hoher Lichtintensität sogenannter Singulett-Sauerstoff entstehen – eine hochreaktive Form des Sauerstoffs, die den Fotosyntheseapparat schädigt.

Starke Sonneneinstrahlung führt ab einem bestimmten Punkt also nicht zu einer höheren Fotosynthese-

AUF DEN PUNKT GEBRACHT

Die Grünalge *Chlorella ohadii* trotzt im Boden der Negev-Wüste extremer Trockenheit und Sonnenstrahlung. Gegen die grelle Sonne schützt sie ihren Fotosyntheseapparat mit verschiedenen Anpassungen. Vor dem Austrocknen bewahrt sie eine wenige Millimeter dünne Kruste auf der Bodenoberfläche. Bakterien bilden durch die Ausscheidung von Kohlenhydraten eine Gel-artige Schicht, die das Wasser besser speichern kann als Sand.

Forschende wollen die Eigenschaften der Alge auf Nutzpflanzen übertragen, damit diese auch bei hohen Strahlungsintensitäten effektiv Fotosynthese betreiben können.

Das Elektronenmikroskop enthüllt die Details des Fotosyntheseapparats von *Chlorella ohadii*. Einen großen Teil der Zelle füllt der Chloroplast aus. Seine aufeinandergestapelten Membranen (M) machen die Fotosynthese besonders effektiv. Dazu dient auch das sogenannte Pyrenoid (P). In ihm werden das für die Fotosynthese benötigte Kohlendioxid und ein Schlüsselenzym angereichert. Das Pyrenoid ist von einer Schicht aus Stärke umgeben (heller Ring).



500 nm

FOTO: HAIM TREVES/API FÜR MOLEKULARE PFLANZENPHYSIOLOGIE

32

leistung. Diese stagniert vielmehr, bei zunehmender Strahlung nimmt sie sogar ab. Trockenheit verstärkt den Effekt noch, weil das Kohlendioxid dann schlechter fixiert werden kann. Die Forschenden haben herausgefunden, dass *Chlorella ohadii* zum Schutz vor einem Kurzschluss verschiedene, zum Teils einzigartige Mechanismen entwickelt hat. So stellt die Alge sehr schnell ein Gleichgewicht zwischen Oxidations- und Reduktionsreaktionen her. Ohne dieses Gleichgewicht würden sich die Elektronen anhäufen. „Wie ein Auto, das in einen niedrigeren Gang schaltet, wenn es steil bergab geht, verhindert die Alge auf diese Weise Schäden am Fotosynthesesystem“, sagt Haim Treves. Bei *Chlorella* fließen die Elektronen während der Fotosynthese außerdem in einem geschlossenen Kreislauf, denn unter den Extrembedingungen der Wüste kann nur dadurch ein Überschuss an energiereichen Elektronen verhindert werden. Ansonsten würden die Elektronen wie Autos in einem Stau feststecken, einige gar zurückfließen. Außerdem produziert *Chlorella* Enzyme, die den zerstörerischen Singulett-Sauerstoff unschädlich machen.

Die Untersuchungen der Max-Planck-Forscher ergaben darüber hinaus, dass *Chlorella* bereits bei wenig Licht effektiv Fotosynthese betreiben kann. Die Alge verwendet dabei dieselben „Tricks“ wie für den Umgang

mit hohen Lichtintensitäten. Wenn die Sonneneinstrahlung steigt, kann sie so ihre Fotosyntheseleistung schnell erhöhen und 60-mal mehr Stärke produzieren als unter schwachem Licht. „Die Wachstumsrate der Alge steigt binnen Minuten – als ob ein Turbo eingeschaltet würde“, so Treves.

Aber all diese Anpassungen wären nicht genug, gäbe es in der Negev-Wüste nicht noch einen ganz besonderen Lebensraum, welcher der Alge zusammen mit Bakterien und Pilzen das Überleben unter widrigsten Bedingungen ermöglicht: die zwei Millimeter dicke

„Gerade unter extremen Bedingungen entwickeln Pflanzen immer wieder unerwartete Fähigkeiten.“

MARK STITT

Kruste auf dem Wüstenboden. Sie entsteht, wenn sich die Pioniere der Wüste auf der Oberfläche der Sandschicht ansiedeln, die Cyanobakterien. Über viele Jahre hinweg produzieren sie große Mengen Kohlenhydrate, die eine Gel-artige Masse bilden. Zusammen mit den Sandkörnern entsteht so im trockenen Zustand eine Kruste. Das Gel kann Wasser, das in Form von Tau oder – ganz selten – als Regen den Boden benetzt, besser speichern. Außerdem trocknet es langsamer aus als reiner Sand. So kann die Kruste den in ihr lebenden Mikroorganismen mehr Wasser zur Verfügung stellen. Erst wenn im Tagesverlauf mehr als die Hälfte des Wassers verdunstet ist, stellen die Mikroben ihre Aktivität vorübergehend ein. Dass die Kruste die Lebensgemeinschaft tatsächlich vor dem Vertrocknen bewahrt, konnte Haim Treves in Laborversuchen zeigen: Zusammen überleben Cyanobakterien und *Chlorella* die Trockenheit, wie sie für die Wüste typisch ist. Alleine dagegen stirbt die Alge. Forschende haben sogar Hinweise darauf gefunden, dass sich die Organismen der Kruste auf die tägliche Austrocknung vorbereiten: Schon vor Sonnenaufgang produzieren die Zellen Substanzen, die ihnen dabei helfen, in der folgenden Nacht aus dem Trockenzustand aufzuwachen.

Winzige Röhren in der Kruste

Treves' Mentor Itzhak Ohad und sein Team haben unter dem Mikroskop weitere faszinierende Phänomene beobachtet. So bilden die Cyanobakterien senkrechte Röhren, in denen sie zum Licht hin wandern können. „Wenn wir ein Stück Kruste im Labor in eine Petrischale legen und Wasser daraufsprühen, kommen die Bakterien an die Oberfläche und bilden dort eine grüne Schicht. Ein andermal erscheint die Kruste schwarz, wenn sich die Bakterien mit eigens produzierten Sonnenschutzfaktoren abschirmen“, erklärt Haim Treves. Von diesem Lichtschutz profitieren auch *Chlorella* und die anderen Mikroorganismen der Kruste. Ohne die Cyanobakterien könnte die Alge also

ANPASSUNGEN VON PFLANZEN AN DIE WÜSTE

WURZELN

Bildung tief reichender oder weiträumiger Wurzeln

WASSER SPAREN

Undurchlässige Oberfläche (z.B. Wachsschicht)

Geschlossene Spaltöffnungen während des Tages

Weniger oder kleinere Spaltöffnungen

Kleinere oder gar keine Blätter

Haare als Licht- und Verdunstungsschutz

SONNENSCHUTZ

C4-Fotosynthese: Nächtliche CO₂-Fixierung in Form von Malat und Umwandlung in Kohlenhydrate tagsüber

Produktion von Sonnenschutzfaktoren, etwa Aloe

Abwenden vom Licht

VERBREITUNG

„Schlafende“ Samen, die bei Trockenheit erst nach Jahren keimen

Explosives Wachstum der Keimlinge bei Feuchtigkeit

nicht überleben. Überhaupt scheinen die Bakterien die heimlichen Herrscher dieses Ökosystems zu sein. Sind nämlich die Ressourcen einmal besonders knapp, so können sie das Wachstum der Algen sogar komplett stoppen.

Wie wichtig die ökologische Funktion der Bodenkruste ist, sieht man an der israelisch-ägyptischen Grenze. Auf der ägyptischen Seite dominieren Reifenspuren sowie andere Anzeichen menschlichen Einflusses das Bild. Da die Kruste weitgehend zerstört ist, konnte sich auf dieser Seite der Grenze eine Sandwüste ausbreiten. Die israelische Negev dagegen ist militärisches Sperrgebiet und darf von Unbefugten nicht betreten werden. Die Kruste ist aus diesem Grund größtenteils noch intakt. Was das bedeutet, zeigt sich nach den seltenen Regenfällen in der Wüste: Die ägyptische Negev bleibt braun, die israelische hingegen blüht auf und wird für kurze Zeit zum Blütenmeer. „Die Kruste verhindert die Ausbreitung des Sandes. So können dort nach dem Regen Pflanzen gedeihen“, erklärt Treves.

Die chinesische Regierung hat die stabilisierende Wirkung der Kruste auf Sanddünen und auf die Bodenfruchtbarkeit erkannt. Forschende des Landes haben Dünen mit Cyanobakterien geimpft und künstlich bewässert. Auf diese Weise sollen sich eine Sandkruste und schließlich landwirtschaftlich nutzbarer Boden bilden. Ob solche Maßnahmen erfolgreich sein werden, muss sich noch zeigen. Haim Treves verfolgt einen anderen Ansatz, damit

Nutzpflanzen in trockenen und halbtrockenen Regionen besser wachsen. Seiner Ansicht nach ist *Chlorella ohadii* selbst der Schlüssel: „Wenn wir verstehen, was sie so widerstandsfähig gegenüber Trockenheit und hoher Strahlung macht und wie diese Alge so rasant wachsen kann, können wir auch andere Pflanzen mit solchen Fähigkeiten ausstatten“, meint Treves. Vielleicht besitzt die winzige Grünalge also einen Schlüssel für das Leben auf einer sich erhaltenden Erde. Es wäre nicht das erste Mal, dass sich ein vermeintlicher Messfehler im Nachhinein als eine wichtige wissenschaftliche Entdeckung herausgestellt hätte.

www.mpg.de/podcasts/extreme



Brücke ohne Fluss: Während der Trockenheit im Jahr 2018 sank der Wasserstand vieler Gewässer wie etwa des Rheins drastisch. Wie hier bei Düsseldorf beeinträchtigte das auch die Binnenschifffahrt stark.

VORHERSEHBARER KLIMASTRESS

TEXT: ANDREAS KNEBL

FOTO: PICTURE ALLIANCE/DPA | CHRISTOPHE GATEAU

35

Dürren, Hitzewellen und Überschwemmungen – solche extremen Wetter- und Klimaereignisse dürften mit dem Klimawandel zunehmen und heftiger werden. Markus Reichstein, Direktor am Max-Planck-Institut für Biogeochemie in Jena, arbeitet mit seinem Team daran, ihre Folgen vorherzusagen. Er setzt dabei auf große Datenmengen und künstliche Intelligenz. Auf diese Weise möchte er Gesellschaften gegenüber Klimaextremen robuster machen.

Markus Reichstein mag Rosmarin. Am liebsten hätte der Wissenschaftler einen buschigen Strauch des mediterranen Gewächses in seinem Garten in Jena. Doch die Pflanze würde das wahrscheinlich nicht lange überstehen. Denn alle paar Jahre gibt es einen sehr strengen Kälteeinbruch – wie zum Beispiel im Winter 2020/21 –, der verhindert, dass ein großer Rosmarinbusch gedeihen kann. Zur Veranschaulichung seiner Forschung zu Klimaextremen kann Markus Reichstein, Direktor am Max-Planck-Institut für Biogeochemie, den Rosmarin trotzdem nutzen. Denn das sonnenreiche, warme und trockene Klima in Jena ist für die aus dem Mittelmeerraum stammende Pflanze eigentlich ideal



FOTO: DAVID AUSSERHOFER

36 Durch Extremereignisse alarmiert: Markus Reichstein und sein Team kombinieren meteorologische Messungen – zum Beispiel von einer Wetterstation bei Jena – mit Ökosystemdaten. Künstliche Intelligenz hilft ihnen dabei, Klimaextreme und deren Folgen etwa für die Land- und Forstwirtschaft vorherzusagen.

geeignet, und auch die mittleren Temperaturen im Winter stellen kein Problem dar. Aber schon wenige Tage bei Temperaturen unter minus zehn Grad Celsius können dem Strauch den Garaus machen. An dieser Tatsache kann Markus Reichstein die verschiedenen Dimensionen von Klima- und Wetterextremen erklären.

Als Klimaextrem werden länger andauernde außergewöhnliche Ereignisse wie Dürren oder Hitzewellen bezeichnet. Extremwetter beschreibt kurze und ungewöhnlich heftige Ereignisse wie Stürme oder starken Hagel. Eine einheitliche Definition, was nun als Extrem klassifiziert wird, gibt es jedoch nicht: „Zunächst kann man auf die meteorologischen Daten schauen und feststellen, wie häufig oder eben selten ein bestimmtes Ereignis an einem Standort ist – zum Beispiel Temperaturen unter minus zehn Grad Celsius“, erklärt Reichstein. „Man kann aber auch anders auf ein solches Ereignis blicken und analysieren, wie weit dieser Wert vom Mittelwert abweicht. Noch spannender ist allerdings die Frage, welche Auswirkungen das Ereignis hat und ob diese ebenso extrem sind, das heißt ungewöhnlich stark.“ Denn während heimische

Pflanzen einige sehr kalte Wintertage ohne Probleme wegstecken und die Auswirkungen für sie nicht extrem sind, sind sie das für den Rosmarin sehr wohl.

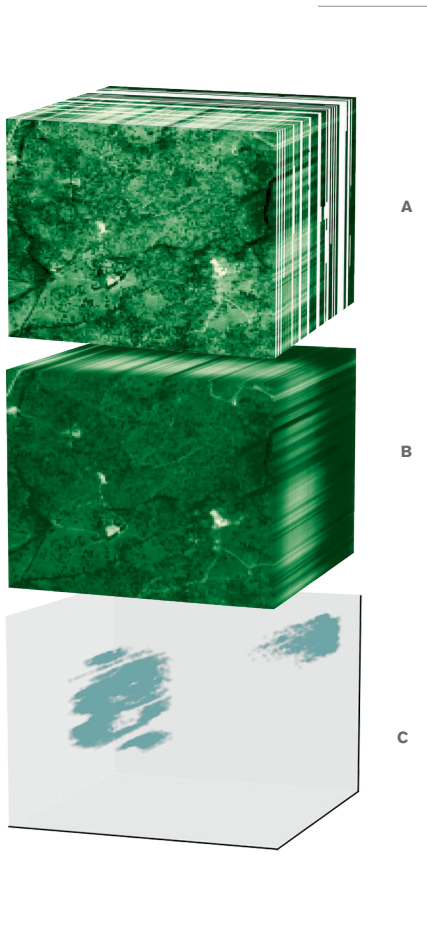
Die weitreichenden Folgen von Klimaextremen waren in Deutschland in den vergangenen Jahren kaum zu übersehen, und manche kamen ziemlich unerwartet. Der heiße und sehr trockene Sommer 2018 stellte Forst- und Landwirte vor große Probleme und hat in deutschen Wäldern Schäden hinterlassen, die immer deutlicher sichtbar werden. Die außergewöhnliche Trockenheit führte in einigen Teilen Deutschlands auch zu großflächigen Waldbränden. Mit diesen direkten Folgen war durchaus zu rechnen. Überraschender war beispielsweise, dass der niedrige Wasserstand im Rhein zu Lieferengpässen führte und dass Kraftwerken das Kühlwasser ausging. Die extremen klimatischen Bedingungen hatten also sowohl auf die Menschen als auch auf die Natur gravierende Auswirkungen – und waren auch in der Öffentlichkeit ein wichtiges Thema.

Für viele Ökosystemforscherinnen und -forscher, darunter auch Markus Reichstein, war jedoch bereits ein anderes Extremereignis ein Weckruf: die Hitzewelle in Europa im Sommer 2003. Die hohen Temperaturen und die durch verschiedene klimatische Effekte erhöhte Verschmutzung der Luft kosteten mehrere Zehntausend Menschen das Leben. Neben Menschen und Wirtschaft litt damals auch die Natur arg unter der Hitze. Anhand umfangreicher Daten von Messstationen und Fernerkundungssatelliten konnten Forschende die Folgen der Hitzewelle für die Ökosysteme im Detail analysieren. Markus Reichsteins Forschung konzentrierte sich damals auf den Kohlenstoffkreislauf und insbesondere auf die Kohlenstoffbilanz zwischen Biogeosphäre und Atmosphäre. Der Wissenschaftler ging also der Frage nach, wie viel Kohlendioxid etwa Pflanzen und Boden aus der Luft aufnehmen und an sie abgeben. Welchen starken Einfluss Klimaextreme auf den globalen Kohlenstoffkreislauf haben, zeigte sich deutlich in den Daten der damaligen Hitzewelle: Normalerweise binden die Pflanzen auf der europäischen Landmasse während ihrer Wachstumsperiode im Sommerhalbjahr große Mengen CO₂. Dies wird, im Gegensatz zu einer Kohlenstoffquelle,

„Das Ziel muss eine gegenüber Klimaextremen widerstandsfähige Gesellschaft sein.“

MARKUS REICHSTEIN

GRAFIK: GCO NACH EINER VORLAGE VON VITUS BENSON, CHRISTIAN REQUENA-MESA, WWW.EARTHNETTECH (2021)



A Datenwürfel zur vergangenen Entwicklung

B Vorhersage durch maschinelles Lernen

C Extrahierte Extremereignisse

Ortsgenaue Warnung: Das Jenaer Team analysiert für verschiedene Flecken Europas (grüne Quadrate), wie sich Ökosysteme abhängig vom Klima in der Vergangenheit entwickelt haben, und erstellt entsprechende Datenwürfel (A). Anhand von Klimaprognosen sagen die Forschenden dann künftige Veränderungen in dem Ökosystem voraus (B) und ermitteln darin Extremereignisse (C).

als Kohlenstoffsénke bezeichnet. Doch durch die Auswirkungen von Hitze und insbesondere von Wassermangel wuchsen die Pflanzen im Jahr 2003 deutlich weniger. Die Senke über Europa war in der Folge nicht nur wesentlich schwächer ausgeprägt, die europäischen Ökosysteme wurden sogar zu Kohlendioxidquellen.

Diese Erkenntnis schreckte die Forschungsgemeinschaft auf. Bis dato waren die Forschenden davon ausgegangen, dass der menschengemachte Klimawandel dazu führen werde, dass Pflanzen in mittleren und höheren Breiten in Zukunft mehr CO₂ binden. Denn die Erderwärmung und der erhöhte Kohlendioxidanteil in der Atmosphäre würden, so glaubte man, dazu führen, dass die Pflanzen früher im Jahr und stärker wachsen.

Dadurch sollten der Anstieg des Kohlendioxidgehalts durch vom Menschen verursachte Emissionen und damit der Klimawandel verlangsamt werden. „Aber die Hitzewelle von 2003 war ein augenöffnendes Ereignis“, sagt Markus Reichstein. Denn bereits damals deutete alles darauf hin, dass der Klimawandel künftig mehr Extreme wie Dürren und Hitze mit sich bringen werde. Und es zeigte sich, dass ein solches Ereignis in der Lage ist, eine Kohlenstoffsénke zeitweise in eine Kohlenstoffquelle zu verwandeln. Nimmt die Vegetation dauerhaft Schaden oder stirbt ab, kann sich der Effekt über die Jahre noch verstärken. Reichsteins Team fand heraus, dass der Einfluss von Klimaextremen auf den globalen Kohlenstoffkreislauf in etwa so groß ist wie die gesamte Kohlenstoffsénke auf den Landmassen der Erde. Und wenn Klimaextreme zunehmen, könnte der





FOTO: SHUTTERSTOCK/HIKKCN

Dem Klimawandel ausgeliefert: Eine Dürre zwang 2011 eine Million Menschen in Ostafrika, aus ihrer Heimat zu fliehen. Vorhersagen derartiger Ereignisse könnten helfen, Vorkehrungen gegen solche Katastrophen zu treffen.

der CO₂-Gehalt der Atmosphäre weiter steigen – eine Rückkopplung zwischen Atmosphäre und Biosphäre, die den Klimawandel noch beschleunigt.

Wie gravierend sich Extremereignisse auf Mensch und Natur auswirken, hängt natürlich auch von ihrer Häufigkeit und Heftigkeit ab. Vorhersagen, ob der Klimawandel zu mehr Extremen führt, helfen also bei der Abschätzung dessen, was auf uns zukommt. Lange beruhten derlei Prognosen auf abstrakten Überlegungen. Detaillierte Vorhersagen waren nicht möglich, weil die Datenlage zu den seltenen Extremereignissen im komplexen Klima- und Wettersystem nicht ausreichte. Doch aus grundlegenden thermodynamischen Überlegungen schlossen Forschende, dass der Klimawandel Extreme wahrscheinlicher und somit häufiger machen werde. Denn der weltweite Anstieg der Temperaturen bedeutet, dass mehr Energie im Erdsystem steckt, dass mehr Wasser verdunstet und die Atmosphäre auch mehr Wasser aufnehmen kann. Das Wetter nimmt also Fahrt auf – es kommt zu mehr Extremen wie Hitzewellen, Starkregen oder Stürmen.

AUF DEN PUNKT GEBRACHT

Meteorologische Extremereignisse wie Hitzewellen, Dürren, Stürme und Starkregen dürften mit dem Klimawandel zunehmen; in manchen Fällen ist der Zusammenhang bereits erwiesen.

Forscherinnen und Forscher des Max-Planck-Instituts für Biogeochemie nutzen meteorologische und ökologische Daten sowie künstliche Intelligenz, um Klimaextreme und ihre Folgen besser zu verstehen und vorherzusagen.

Mit ihrem Ansatz haben sie nachgewiesen, dass die Hitze- und Dürreperiode, die 2010 in Russland herrschte, in landwirtschaftlich geprägten Regionen wie erwartet zu einem Einbruch des pflanzlichen Wachstums führte, in von Wäldern geprägten Breiten jedoch mit einer Zunahme der Biomasseproduktion verbunden war.

Prognosen von Klimaextremen und deren Folgen können dazu beitragen, dass sich Gesellschaften darauf vorbereiten können.

Wie sich in den vergangenen Jahren zeigte, lag die Klimawissenschaft mit dieser Argumentation richtig. Denn es gelang Forscherinnen und Forschern tatsächlich, die Zunahme von Extremen auf den Klimawandel zurückzuführen. Ihre Analyse stützt sich dabei auf verbesserte globale und regionale Klimamodelle, die auf leistungsfähigen Computern berechnet werden. Am besten gelingt die Zuschreibung momentan für Hitzewellen, für andere Extremereignisse wie Dürren, Starkregen oder Überschwemmungen sind die Aussagen weniger belastbar. Die Forschenden stellen dabei keinen kausalen Zusammenhang zwischen einem spezifischen Ereignis und dem Klimawandel her, sondern berechnen, wie viel wahrscheinlicher ein solches Extrem durch den Klimawandel geworden ist. Dazu vergleichen sie die Wahrscheinlichkeit eines Extremereignisses in einer Welt *ohne* den menschengemachten Klimawandel mit der Wahrscheinlichkeit in einer Welt *mit* Klimawandel. Das ist in etwa so, als würde man zwei Würfel viele Male werfen, um zu vergleichen, wie häufig eine bestimmte Zahl jeweils vorkommt. Einen der Würfel, nämlich jenen unserer realen Welt, hat der Klimawandel gezinkt. Für die verheerenden Buschfeuer in Australien in den Jahren 2019 und 2020 hat eine Analyse der Forschungsinitiative World Weather Attribution beispielsweise ergeben, dass das Risiko für ein derartiges Ereignis durch den Klimawandel um mindestens 30 Prozent gestiegen ist.

Markus Reichstein will noch einen Schritt weitergehen: Er will Klimaextreme nicht nur rückblickend dem Klimawandel zuschreiben, er möchte sie vielmehr möglichst genau für eine Region oder einen Ort vorhersagen. Seine Gruppe setzt dabei auf große Datenmengen und künstliche Intelligenz, um zunächst ein besseres Verständnis für Klimaextreme zu entwickeln. Dadurch will das Team eine räumlich hochaufgelöste Prognose von Klimaextremen und vor allem ihrer Auswirkungen ermöglichen und somit zu einem Frühwarnsystem beitragen. Zu diesem Zweck führen die Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler eine Vielzahl von Daten zusammen und bringen dabei ganz unterschiedliche Informationen miteinander in Verbindung. So kombinieren sie etwa meteorologische Messdaten mit Daten, die Ökosysteme beschreiben. Methoden der künstlichen Intelligenz helfen ihnen, die Daten zu verarbeiten und zusammenzuführen. So können sie zum Beispiel Temperatur- und Niederschlagswerte mit der aus Satellitenbildern ermittelten pflanzlichen Aktivität vergleichen und zusätzlich die oberflächennah gemessene Kohlenstoffdioxidkonzentration analysieren. Für alle Größen, die den Zustand eines Ökosystems charakterisieren, erzeugen die Forschenden eine Weltkarte. So entsteht beispielsweise eine Trockenstress-Karte, die dann für viele zurückliegende Zeitpunkte, das heißt mit hoher zeitlicher Auflösung, vorliegt. Die Zeit-Scheibchen bilden neben Längen- und Breitengraden die dritte Dimension dieses sogenannten Datenwürfels. Letztlich können die Forschenden so zum Beispiel beurteilen, wie stark Trockenheit die Vegetation im Laufe der Zeit geschädigt hat und schädigen wird. Die besondere Stärke des Ansatzes liegt darin, dass sich räumliche Zusammenhänge erschließen und die zeitliche Entwicklung deutlich wird. Auf diese Weise spüren die Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler Anomalien auf. Für diese Abweichungen von der Norm, die ein Extrem kennzeichnen, analysieren sie dann die verschiedenen Zustandsgrößen und erhalten so ein mehrdimensionales Bild des komplexen Zusammenspiels.

Klimaextrem mit ambivalenten Folgen

Wie verschiedene Faktoren zur Entstehung eines Klimaextremes beitragen und dessen Auswirkungen beeinflussen, untersuchten die Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler an einem vergangenen Extremereignis: einer Hitzewelle, die 2010 in Russland herrschte. Damals stiegen die Temperaturen dort auf über 38 Grad Celsius und lagen einige Wochen lang mehr als zehn Grad Celsius über dem Durchschnitt. Gleichzeitig herrschte eine massive Dürre – eine verheerende Kombination: Es gab Ernteausfälle, Waldbrände und Torffeuer. Auch hier starben Zehntausende Menschen, nicht nur aufgrund der hohen Temperaturen, sondern auch wegen der durch Trockenheit, Hitze und Brände

verursachten Luftverschmutzung. Reichsteins Team fand in der Datenwürfel-Analyse allerdings heraus, dass die Folgen für die Natur nicht so eindeutig negativ waren. Denn das meteorologische Extremereignis passte räumlich und zeitlich nicht ganz mit der Entwicklung der pflanzlichen Produktivität zusammen. Zwar zeigte sich in den von Landwirtschaft geprägten mittleren Breiten der erwartete Effekt: Der heiße und trockene Sommer führte dazu, dass die Pflanzen nicht mehr weiterwuchsen und verdorrten, die pflanzliche Produktivität brach ein. Doch in den höheren Breiten mit ausgedehnten Wäldern lösten das milde Frühjahr und der ungewöhnlich heiße Sommer frühes und starkes Pflanzenwachstum aus. Das meteorologische Extremereignis hatte also in verschiedenen Regionen ganz unterschiedliche Auswirkungen auf die Ökosysteme.

Vorhersage auf 20 Meter genau

Für eine belastbare Vorhersage von Klimaextremen ist es entscheidend, aus möglichst vielen verschiedenen solcher Ereignisse zu lernen. Denn erst aus der eingehenden Analyse vieler Daten ergibt sich ein klares und verallgemeinerbares Bild der komplexen Zusammenhänge. Genau das ist die Stärke von künstlicher Intelligenz, genauer gesagt: der Methoden des maschinellen Lernens, das Muster in unbekanntem Daten erkennen kann. Markus Reichsteins Forschungsgruppe arbeitet daher mit Bernhard Schölkopf, Direktor am Max-Planck-Institut für Intelligente Systeme, und weiteren Forschern des Europäischen Labors für Lernende und Intelligente Systeme (ELLIS) daran, Algorithmen des maschinellen Lernens weiterzuentwickeln und für die Erdsystemforschung zu nutzen. Mithilfe der künstlichen Intelligenz untersuchen die Jenaer Forschenden nicht nur, wie sich Extremereignisse auswirken. Die Analysen sollen auch das Verständnis der kausalen Zusammenhänge verbessern, wie sich Ökosysteme und Klima gegenseitig beeinflussen. In den Datenwürfeln häufen sich inzwischen die Klimaextreme, die sich weltweit in den vergangenen Jahrzehnten ereigneten. Und so hoffen die Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler, dass die künstliche Intelligenz in den Daten aufschlussreiche Muster erkennt. Dadurch könnten auch Risikofaktoren oder indirekte Folgen mit einem Klimaextrem in Verbindung gebracht werden, die sonst kaum damit assoziiert werden würden. „Wenn wir die Ergebnisse dieser Analysen mit etabliertem Klimawissen und mit Modellen zusammenführen, wäre es in Zukunft möglich, das Risiko eines Klimaextremes und vor allem dessen Auswirkungen auf 20 Meter genau vorherzusagen“, erklärt Markus Reichstein.

Mit den Erkenntnissen, die der Geowissenschaftler und seine Kolleginnen und Kollegen in aller Welt inzwischen zu Klimaextremen gewonnen haben, möchte er auch in Gesellschaft und Politik Gehör finden. Unter-

stützt wird er dabei am Max-Planck-Institut für Biogeochemie von Dorothea Frank: „Wir wollen ein Bewusstsein für die Gefahr schaffen, die dadurch entsteht, dass der Klimawandel extreme Wetter- und Klimaereignisse immer wahrscheinlicher macht“, sagt die Forscherin, die für viele Projekte und Initiativen in diesem Kontext mitverantwortlich ist. Denn klar ist: Selbst wenn die Anstrengungen, den Klimawandel zu verlangsamen und zu stoppen, erfolgreich sind, werden Klimaextreme zunächst weltweit verstärkt auftreten. Die Naturgewalten treffen dabei auf sich ständig ändernde gesellschaftliche Bedingungen. Die Jenaer Forschenden wollen daher Erkenntnisse aus verschiedenen Wissenschaftsdisziplinen nutzen, um die Gesellschaft besser auf die Herausforderungen vorzubereiten, die der Klimawandel mit sich bringt. „Gerade bei systemischen Risiken, welche durch Wechselwirkung natürlicher Systeme mit Wirtschaft, Politik und Individuen entstehen, ist es für das Verständnis entscheidend, aus naturwissenschaftlicher, ökonomischer, psychologischer, soziologischer und historischer Perspektive auf die Entwicklung zu blicken“, sagt Reichstein.

Aktuell versuchen Dorothea Frank und Markus Reichstein mit der Risk-KAN-Initiative, die zahlreiche internationale Kolleginnen und Kollegen zusammenbringt, den wissenschaftlichen Austausch zu Extremereignissen, Katastrophenvorsorge und Governance zu stärken. Gemeinsam wollen sie Handlungsempfehlungen für den Umgang mit systemischen Risiken erarbeiten. Denn extreme Klima- und Wetterereignisse stellen Staaten und Gesellschaften zunehmend auf die Probe. Während reiche und hoch entwickelte Länder die schlimmsten Folgen von Extremereignissen oftmals noch abwenden können, bedrohen daraus entstehende Katastrophen in Entwicklungsländern viele Menschenleben und machen humanitäre Hilfseinsätze notwendig. Ein Beispiel sind die Dürre in Ostafrika 2011 und die daraus folgende Hungersnot in Ländern wie Äthiopien und Somalia. Diese Katastrophe gefährdete mehr als zehn Millionen Menschen, kostete mehrere Hunderttausend Menschen das Leben und führte dazu, dass fast eine Million Menschen aus ihrer Heimat fliehen mussten. Die Weltbank schätzt, dass bis 2050 bis zu 143 Millionen Menschen zu Klimaflüchtlingen werden könnten, viele davon durch die Auswirkungen von Klimaextremen. Deshalb ist es jetzt nötig, aktiv zu werden, präventiv Maßnahmen zu ergreifen und Investitionen zu tätigen. „Das Ziel muss eine nachhaltige und dabei gegenüber Klimaextremen möglichst widerstandsfähige Gesellschaft sein“, sagt Markus Reichstein. Die möglichen Maßnahmen sind vielfältig und hängen stark vom jeweiligen Ort ab: In

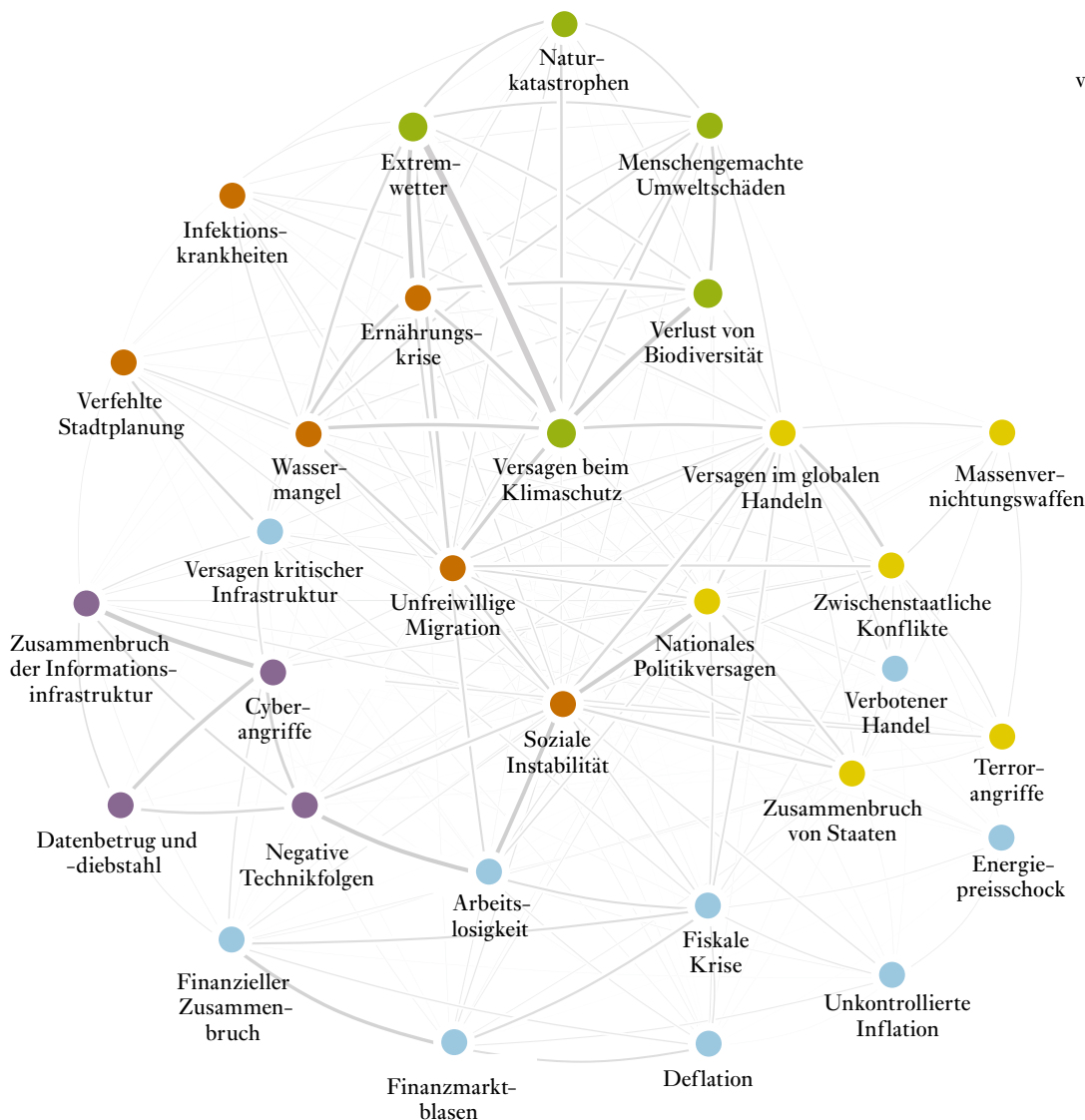
GLOSSAR

KLIMAEXTREM heißt ein länger andauerndes außergewöhnliches Ereignis wie eine Dürre oder eine Hitzewelle. Im Unterschied dazu wird als Extremwetter ein kurzes, ungewöhnlich heftiges Ereignis wie ein Sturm oder Starkregen bezeichnet.

KOHLLENSTOFFSENKE heißt ein Teil des Erdsystems, der mehr Kohlenstoff vor allem in Form von Kohlendioxid aufnimmt, als er abgibt. Die wichtigste Kohlenstoffsenke sind die Ozeane, sie nehmen etwa 30 Prozent des menschengemachten Kohlendioxids auf.

MASCHINELLES LERNEN ist ein Ansatz der künstlichen Intelligenz, bei dem Algorithmen in großen Datenmengen Muster erkennen, etwa den Zusammenhang zwischen meteorologischen Daten wie Niederschlagsmengen und vermindertem Pflanzenwachstum. Forschende können solche Folgen dann vorhersagen.

GRAFIK: GCO NACH WORLD ECONOMIC FORUM GLOBAL RISKS PERCEPTION SURVEY 2019-2020



Vernetzte Risiken:
 Klimaextreme können viele direkte und indirekte Folgen nach sich ziehen, nicht nur für die Natur (grün), sondern auch für die menschliche Existenz und Gesundheit (braun), für die nationale und globale Politik (gelb), die Wirtschaft (blau) und die technische Sicherheit (violett).

Küsten- oder Flussnähe mögen höhere Dämme und Flutmauern nötig sein, während andernorts neue Nutzpflanzen eingeführt werden müssen, die dürreresistenter sind.

Dabei tragen belastbare Vorhersagen der Auswirkungen von Klimaextremen, wie sie Reichsteins Team entwickelt, dazu bei, Gesellschaften widerstandsfähiger zu machen. Beispielsweise arbeitet das Team gerade an einem großen, EU-geförderten Forschungsprojekt mit, das diesen Ansatz in Afrika etablieren soll. Denn ein Frühwarnsystem verschafft den Menschen in einer betroffenen Region Zeit, sich auf ein Extrem vorzubereiten. Nötige Finanzmittel könnten schon vorab freigegeben werden, um den Menschen vor Ort zu helfen und eine Katastrophe zu verhindern. Vorhersagebasierte Katastrophenhilfe kommt heute bereits zum Einsatz, könnte aber in Zukunft stark ausgebaut werden und würde von zuverlässigen und genauen Prognosen profitieren. Markus Reichstein ist von der

Stärke seines datenbasierten Forschungsansatzes überzeugt und hält ihn sogar für erweiterungsfähig: Indem die Forschenden mithilfe künstlicher Intelligenz Klima- und Ökosystemdaten sowie sozioökonomische Daten analysieren, könnten sie auch die Verletzlichkeit von Gesellschaften gegenüber Klimaextremen überprüfen. Doch selbst wenn vulnerable Gesellschaften identifiziert werden oder ein auf Datenwürfeln basierendes Frühwarnsystem Alarm schlägt – entscheidend ist am Ende stets, wie die Menschen darauf reagieren. Ausgerechnet die Corona-Pandemie macht Dorothea Frank und Markus Reichstein in dieser Hinsicht etwas Mut. „Denn diese Krise hat gezeigt, dass unsere Gesellschaft – in Deutschland und weltweit – durchaus dazu in der Lage ist, schnell und entschlossen zu handeln“, sagt Dorothea Frank. „Diese Entschlossenheit ist auch notwendig, um jetzt der Klimakrise zu begegnen und die massiven Auswirkungen von Extremereignissen abzuwenden.“

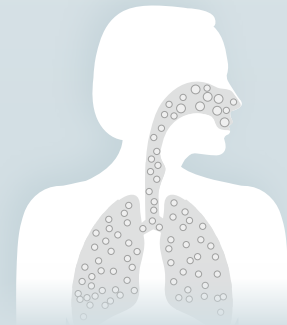
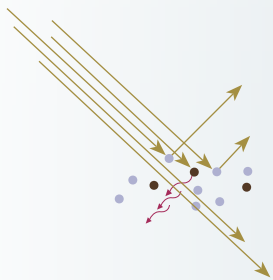
www.mpg.de/podcasts/extreme



ES SCHWEBT WAS IN DER LUFT

Ein Aerosol ist eine Suspension kleiner fester oder flüssiger Partikel in Luft oder in einem anderen Gas. Die Partikel schweben umso länger in der Luft, je kleiner sie sind.

EFFEKTE DER AEROSOLE



42

Helle Aerosolpartikel wie etwa Sulfatepartikel reflektieren das Sonnenlicht und wirken so kühlend auf das Klima. Dunkle Partikel hingegen, etwa aus Ruß, absorbieren das Licht. Sie tragen daher zur Erwärmung der Atmosphäre bei.

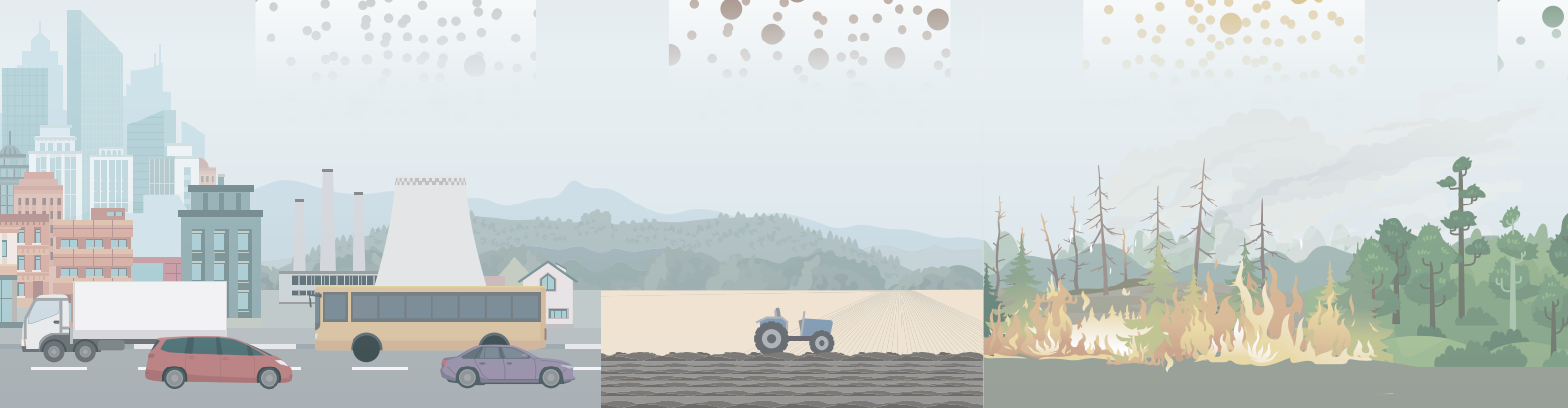
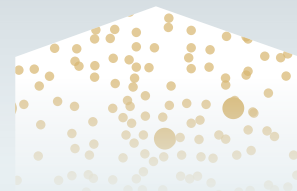
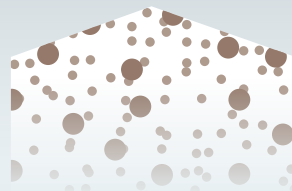
Aerosolpartikel dienen auch als Kondensationskeime für die Bildung von Wolkentropfen (dunkelblau), die ebenfalls kühlend wirken. An manchen Teilchen – etwa Wüstenstaub, Bakterien und Sporen – können sich in höheren Atmosphärenschichten auch Eiskristalle (hellblaue Sechsecke) bilden, die zur Entstehung von Regen, Schnee oder Hagel beitragen.

Biologische Aerosolpartikel wie Pollen und Pilzsporen spielen eine wichtige Rolle bei der Vermehrung von Pflanzen und Pilzen. Sie können auch Allergien hervorrufen.

Manche Krankheitserreger wie etwa Viren oder Tuberkulosebakterien werden als feine Aerosolpartikel ausgeatmet und übertragen. Abgesehen von Infektionskrankheiten kann Feinstaub aus Verbrennungsprozessen, Industrie, Landwirtschaft und anderen Quellen Entzündungsreaktionen auslösen und zu Atemwegs- und Herz-Kreislauf-Erkrankungen führen.

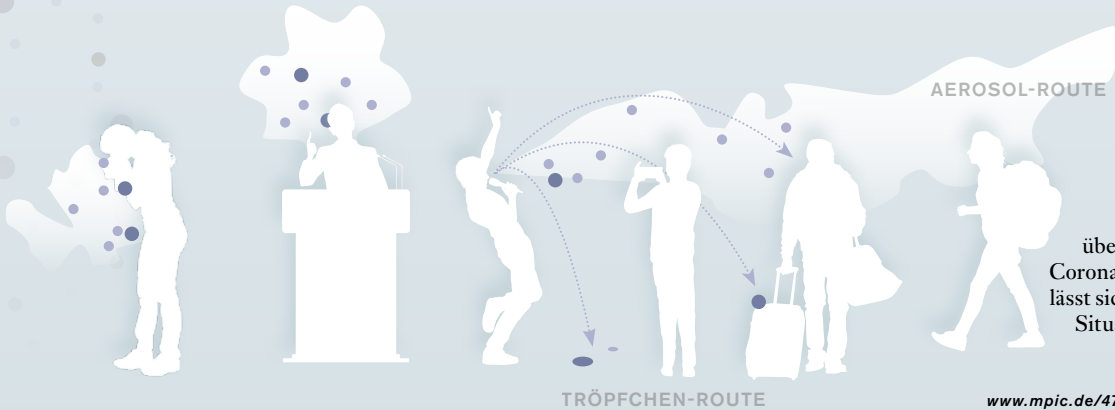
QUELLEN UND MENGENVERHÄLTNISSE

Aerosole stammen aus verschiedenen menschengemachten und natürlichen Quellen. Die Größen und Mengen der Partikel unterscheiden sich dabei stark. Vulkane stoßen sehr viele kleine und große Teilchen hoch in die Atmosphäre aus, andere Quellen setzen Partikel eher bodennah frei.

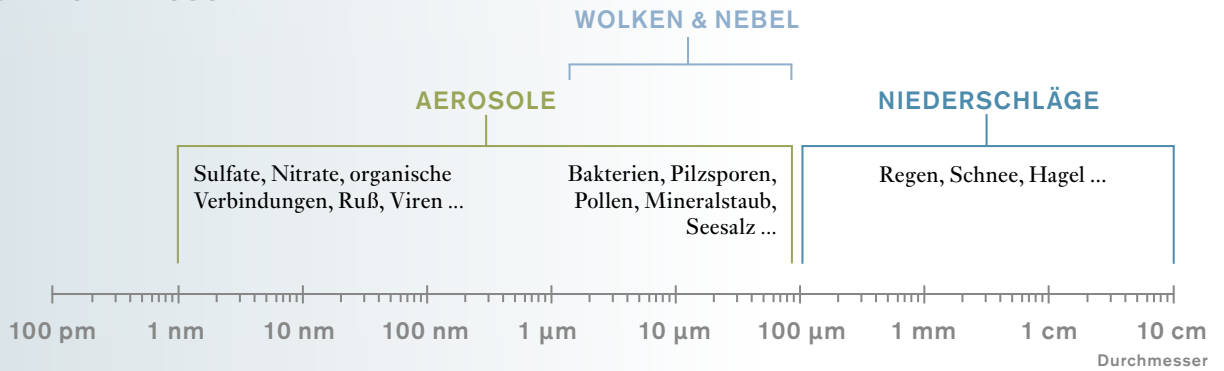


AEROSOLE ALS ÜBERTRÄGER VON KRANKHEITEN

Infektionskrankheiten wie Covid-19 werden auf verschiedenen Wegen übertragen. Aerosole spielen dabei vor allem in Innenräumen eine wichtige Rolle, wenn sie sich dort über längere Zeit ansammeln können.

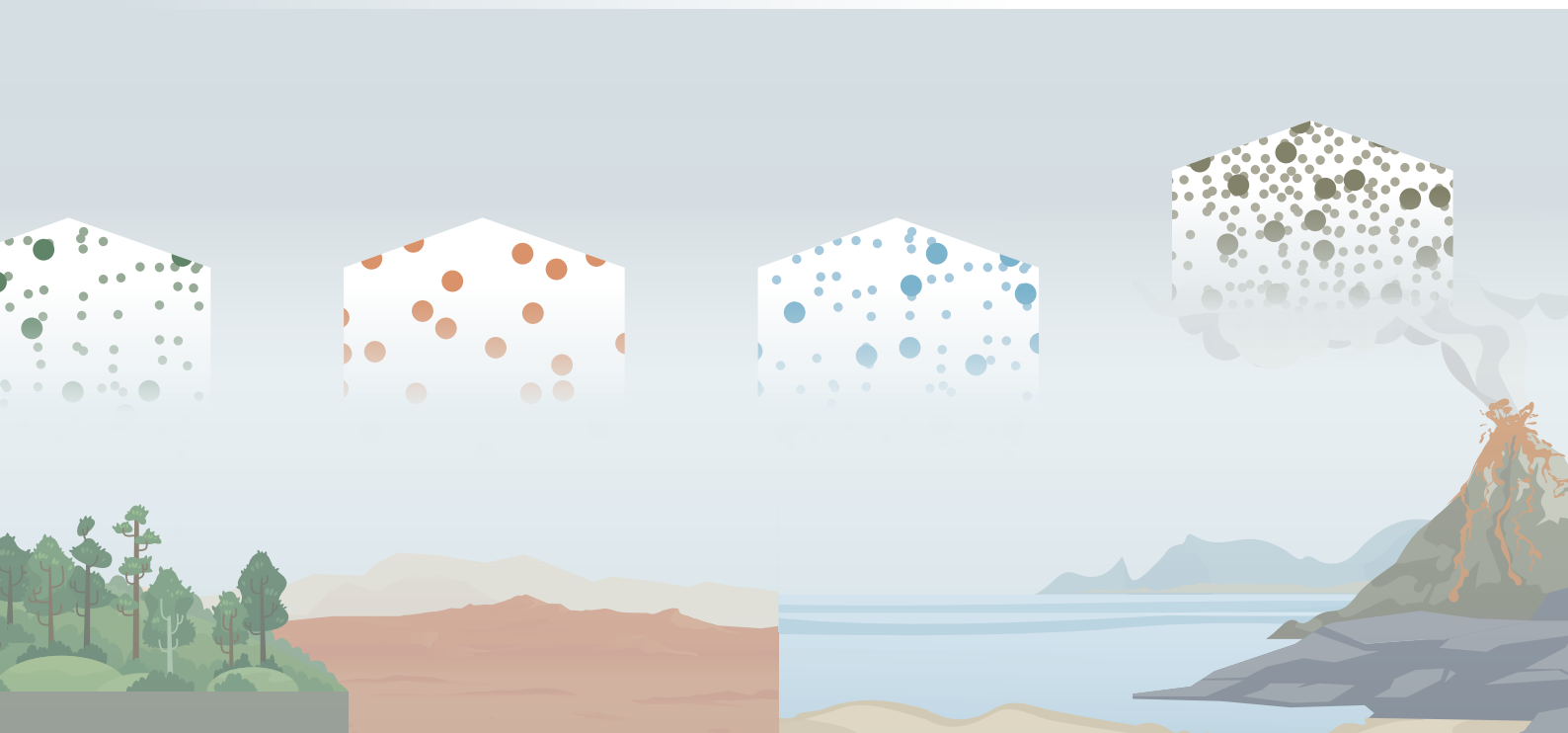


GRÖSSEN VON AEROSOLPARTIKELN



Die Größe von Aerosolpartikeln reicht von etwa 1 Nanometer (nm) bis zu 100 Mikrometern (µm). Größere Teilchen fallen rasch als Niederschlag zu Boden. Primäre Aerosolpartikel, etwa Staub, gelangen bereits als feste Teilchen oder Tröpfchen in die Atmosphäre, sekundäre, etwa Sulfateilchen, entstehen erst in der Atmosphäre aus kondensierbaren Gasen und sind zumeist kleiner als 100 nm.

Das augenfälligste Beispiel für Aerosole in der Atmosphäre sind Wolken, die hauptsächlich aus kondensiertem Wasser bestehen. In der Atmosphärenforschung bezieht sich der Begriff Aerosol jedoch traditionell auf suspendierte Partikel, die zum wesentlichen Teil nicht aus Wasser bestehen.



GENDERGAP – AUCH IM GENOM

44

Die Geschlechtschromosomen sind zwischen Männern und Frauen ungleich verteilt. Doch der Natur gelingt es, diesen genetischen Gendergap auszubalancieren. Welche ausgeklügelten epigenetischen Mechanismen dahinterstecken, erforscht Asifa Akhtar, Direktorin am Max-Planck-Institut für Immunbiologie und Epigenetik in Freiburg, mit ihrem Team. Als Vizepräsidentin der Max-Planck-Gesellschaft für die Biologisch-Medizinische Sektion setzt sie sich auch dafür ein, den Gendergap im Wissenschaftsbetrieb zu verringern.

TEXT: STEFANIE REINBERGER

Asifa Akhtar verspätet sich ein wenig. Denn obwohl wir am frühen Vormittag verabredet sind, hat sie vorher bereits ein Meeting. Und das hat ein wenig länger gedauert als geplant. Sie erscheint mit der Kaffeetasse in der Hand. „Mein erster Kaffee heute – die Tage sind total verrückt in diesen Zeiten“, sagt sie. Die Pandemie macht Dienstreisen kaum noch möglich, Meetings laufen größtenteils digital ab. „Dadurch geht es meist Schlag auf Schlag – von einer Besprechung in die nächste, ohne große Pausen dazwischen“, sagt sie. „Das ist anstrengend, aber sehr effizient.“ Auch im Anschluss an unser Gespräch wird sie direkt zum

nächsten Termin eilen. Die 50-Jährige ist Direktorin am Max-Planck-Institut für Immunbiologie und Epigenetik in Freiburg. Sie untersucht dort jene Mechanismen, die bewirken, dass Genmaterial so in den Chromosomen verpackt wird, dass es sinnvoll abgelesen werden kann – die Voraussetzung dafür, dass die jeweilige Zelle die gewünschten Eigenschaften annimmt und die ihr zugeordneten Aufgaben im Körper erfüllt. Akhtars Hauptaugenmerk liegt dabei auf dem X-Chromosom.

Für ihre Forschung wurde Asifa Akhtar bereits mehrfach ausgezeichnet. Erst jüngst erhielt sie den Leibniz-Preis, den wichtigsten deutschen Forschungsförderpreis: „Es ist sehr befriedigend zu sehen, dass die eigene Arbeit nicht nur wahrgenommen, sondern auch auf diesem hohen Niveau anerkannt wird. Besonders meine Mitarbeitenden waren völlig aus dem Häuschen; ich bin extrem stolz auf deren Leistungen“, betont die Wissenschaftlerin.

Seit 2020 ist sie Vizepräsidentin der Max-Planck-Gesellschaft für die Biologisch-Medizinische Sektion – als erste aus dem Ausland stammende Frau und zudem als jüngste. Das hat auch in ihrem Heimatland Pakistan viel Aufmerksamkeit erregt, und es gingen etliche Presseanfragen ein. Akhtar ist darüber hinaus aber auch Ehefrau und Mutter von zwei Kindern, einem Sohn und einer Tochter. Sie hat derzeit also viel um die Ohren – Anstrengung allerdings merkt man ihr nicht an. Im Gegenteil, sie wirkt frisch, als sie mit der Kaffeetasse in der Hand zum Gespräch erscheint, ihr Lächeln ist echt – entspannt und zugewandt. Es scheint ihr

→

BESUCH BEI

ASIFA
AKHTAR



FOTO: MARCUS ROCKOFF

45

Asifa Akhtar kam im Jahr 2009 als Forschungsgruppenleiterin an das Max-Planck-Institut für Immunbiologie und Epigenetik in Freiburg. 2013 wurde sie im Rahmen eines Tenure Track zur Direktorin am Institut berufen.



FOTO: MARCUS ROCKOFF

Als Vizepräsidentin will Asifa Akhtar junge Forschende bei ihrer Karriere unterstützen – insbesondere junge Frauen: „Es liegt an uns, Bedingungen zu schaffen, dass eine wissenschaftliche Karriere für Frauen auch mit Kindern möglich ist“, sagt sie.

leichtzufallen, von einem Termin zum nächsten und von einer Aufgabe zur anderen zu springen und sich dabei auch noch auf ihr Gegenüber und seine Anliegen einzustellen. Fast spielerisch wechselt sie im Gespräch zwischen wissenschaftlichen Inhalten, persönlichen Themen und Gender-Fragen, die ihr ebenfalls am Herzen liegen.

die Sprache zu sprechen, „war das in der Anfangszeit ziemlich entmutigend“, wie sie erzählt. Nach ihrer Postdoc-Zeit wollte sie das Land eigentlich wieder verlassen. „Aber Deutschland war sehr gut darin, mich bei jedem Schritt meiner Karriere zu halten. Und was kann man sich Besseres vorstellen, als an ein Max-Planck-Institut zu wechseln?“ Erst

„Die unterschiedlichen Länder und Kulturen, die ich kennenlernen durfte, haben mich vor allem gelehrt, offen und tolerant zu sein gegenüber anderen.“

Vielleicht hat diese ungeheure Flexibilität etwas mit ihrer eigenen Biografie zu tun. Asifa Akhtar wurde 1971 in Karatschi in Pakistan geboren. Ihre Kindheit und Jugend waren jedoch international geprägt: Von Karatschi ging es für einige Jahre nach Abu Dhabi, später zurück nach Pakistan. Im Alter von 15 Jahren zog sie dann mit der Familie nach Paris. „Meine Schule war in einer Seitenstraße der Champs-Élysées“, sagt die Wissenschaftlerin. „Das müssen Sie sich mal vorstellen: von Karatschi an die Champs-Élysées – das war überwältigend.“ Nach ihrem Schulabschluss Anfang der 1990er-Jahre wechselte sie erneut das Land – diesmal ohne die Familie. Sie ging nach London, um am University College London Biologie zu studieren.

„Die unterschiedlichen Länder und Kulturen, die ich kennenlernen durfte, haben mich vor allem gelehrt, offen und tolerant zu sein gegenüber anderen“, sagt Akhtar. „Und flexibel zu bleiben, um mich auf meine neue Umgebung einzustellen.“ Was sie in Deutschland besonders überrascht hat: dass Menschen sich nach Fahrplänen richten und sich kurz vor der planmäßigen Abfahrt an der Bushaltestelle einfinden. Busse, die einigermaßen pünktlich fahren – das kannte sie bis dahin noch nicht. „Überhaupt erlebe ich Deutschland als sehr sauber und ordentlich. Das hat es mir leicht gemacht, mich hier einzuleben.“ Trotzdem: Als sie 1997 als Postdoktorandin nach Deutschland, genauer gesagt: an das European Molecular Biology Laboratory (EMBL) nach Heidelberg kam, ohne

als Forschungsgruppenleiterin, seit 2013 als Direktorin am Institut. Auch in ihrer Forschung geht es um Anpassung und Interaktion. Alle Organismen, aber auch einzelne Zellen reagieren auf ihre Umwelt. Und obwohl alle Zellen im Körper genau die gleiche Erbinformation besitzen, entwickeln sie höchst unterschiedliche Eigenschaften und Funktionen, „je nachdem, wo sie ihren Platz finden, in welchem Gewebe und in welchen Organen“, erklärt Akhtar. Der Schlüssel zu diesem Phänomen ist die Epigenetik, also die Regulations-ebene jenseits der Gene.

Verschiedene Mechanismen entscheiden nämlich darüber, welche Gene aus- und welche angeschaltet werden und in welchem Maß. „Stellen Sie sich die DNA wie eine festgeschriebene Gebrauchsanweisung für eine komplizierte Maschine vor. Nicht jede Seite der Anleitung ist nötig, um das Gerät zum Laufen zu bringen. Epigenetik funktioniert wie ein Textmarker: Mit ihr werden wichtige Stellen markiert“, erklärt Akhtar. Die hervorgehobenen Informationen sind dann aktiv. Sie werden abgelesen und in Proteine übersetzt. Andere Stellen werden quasi unkenntlich gemacht oder „stummschaltet“, wie die Forschenden sagen. Beeinflusst wird das Ganze durch molekulare Faktoren, etwa Entwicklungssignale und Wachstumsfaktoren. Aber auch Stress und der Lebensstil des Einzelnen – Sport, Ernährung, Rauchen – hinterlassen Markierungen im Genom und werden teilweise sogar an die Nachkommen vererbt.

→

Die Freiburger Max-Planck-Direktorin interessiert sich insbesondere dafür, wie das auf der Ebene kompletter Chromosomen abläuft. Welche molekularbiologischen Mechanismen stecken dahinter, dass große Bereiche auf Chromosomen stillgelegt und andere aktiv sind? Im Zentrum ihrer Arbeit steht dabei das X-Chromosom, eines von zwei Geschlechtschromosomen beim Menschen. Während Männer über ein X- und ein Y-Chromosom verfügen, haben Frauen zwei X-Chromosomen. Damit Frauen nun aber nicht die doppelte Dosis aller im X-Chromosom verschlüsselten Proteine haben, muss dieses Ungleichgewicht zwischen den Geschlechtern ausbalanciert werden.

„Eine Überdosierung aktiver Gene hat schwerwiegende Konsequenzen für die Zelle und den Organismus“, sagt Akhtar. Das kennt man etwa von Trisomien (ein Chromosom tritt dreifach auf) oder von Erkrankungen, bei denen bestimmte Abschnitte des Genoms vervielfältigt sind, sowie von Krebserkrankungen, bei denen ungleich verteilte Chromosomen eine Rolle spielen können. „Es muss also eine Dosiskompensation stattfinden“, betont die Molekularbiologin. Bei Menschen und anderen Säugetieren geschieht dies, indem bei den weiblichen Vertretern ein X-Chromosom stillge-

eigentlich noch immer so, auch wenn heute ihre Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter im Labor die praktische Arbeit machen. „Falls sich das jemals ändern sollte, höre ich mit der Wissenschaft auf.“

Es gibt eine ganze Reihe von Faktoren, die bei *Drosophila*-Männchen dafür sorgen, dass das Chromatin des einzelnen X-Chromosoms genauso aktiv ist wie zwei X-Chromosomen bei weiblichen Artgenossen. „Wir haben den Nachweis erbracht, dass ein Enzym namens MOF dabei entscheidend ist“, so Akhtar. Es versieht die Histone, jene Proteinspulen, auf denen der DNA-Faden aufgewickelt ist, mit chemischen Modifikationen, sogenannten Acetylresten, und bewirkt dadurch, dass diese Bereiche besser abgelesen werden können. Typisch für die Dosiskompensation bei *Drosophila* ist, dass ein bestimmtes Histon mit dem Kürzel H4 hyperacetyliert, also mit besonders vielen dieser Anhängsel versehen ist.

„Wir sind dann der Frage nachgegangen, welche Rolle MOF bei Säugetieren spielt, wo die Dosiskompensation dem umgekehrten Prinzip folgt“, erzählt die Wissenschaftlerin. Und dabei wartete eine riesige Überraschung auf die Forschenden. Sie fanden MOF bei Mäusen nämlich nicht nur im Zell-

„Ich glaube, die Faszination für dieses Forschungsfeld wird mich nie verlassen.“

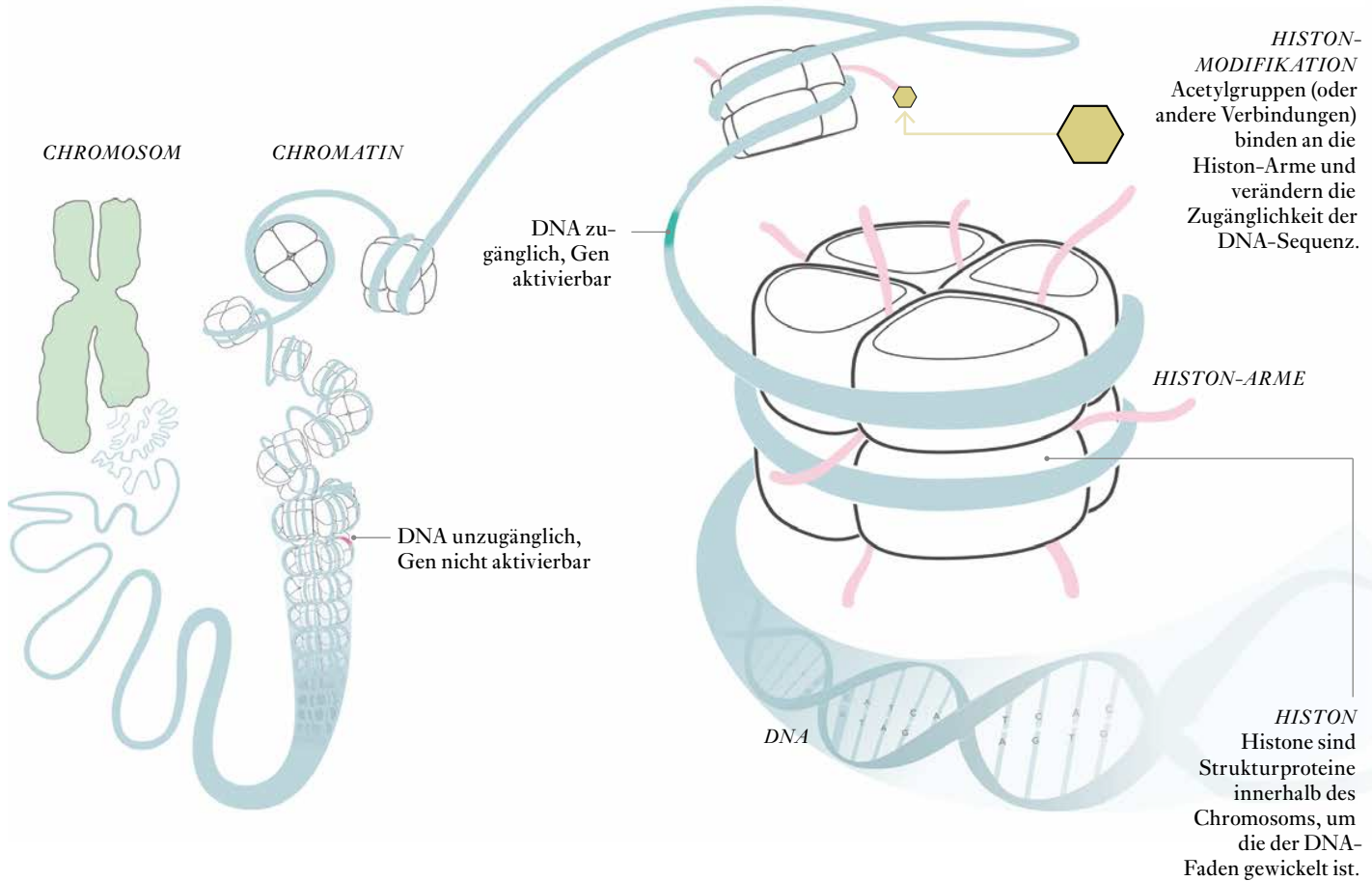
legt wird. Bei der Taufliege *Drosophila* dagegen – Akhtars bevorzugtem Forschungsobjekt – verdoppelt das einzelne X-Chromosom der Männchen seine Aktivität.

Mit dem X-Chromosom und dem Phänomen der Dosiskompensation beschäftigt sich die Wissenschaftlerin bereits seit ihrer Doktorarbeit. „Ich glaube, die Faszination für dieses Forschungsfeld wird mich nie verlassen.“ Ihr Motor, der sie antreibt, ist die Neugier, gepaart mit der Aufregung, die es für sie bedeutet, wenn Experimente laufen, die möglicherweise neue, ungeahnte Erkenntnisse bringen: „Man weiß vorher nie, was herauskommt. Als ich selbst noch im Labor stand, konnte ich nachts oft nicht schlafen, so aufgeregt habe ich dem Ergebnis entgegengefiebert“, sagt Akhtar. Das sei

kern, sondern auch in den Mitochondrien, den Kraftwerken der Zellen. Das Besondere: Mitochondrien sind die einzigen Zellorganellen jenseits des Zellkerns, die über eigenes Erbmateriale verfügen. „Und tatsächlich ist MOF auch in den Mitochondrien an der Regulation der Genaktivität beteiligt, genau wie im Zellkern“, erklärt Akhtar. Demnach gibt es eine direkte Verbindung zwischen dem Stoffwechsel und der Genregulation. „Möglicherweise finden wir hier die Erklärung, wie beispielsweise Ernährung die Epigenetik und damit die Genaktivität beeinflussen kann. Oder wie sich Stress auswirkt.“

Es ist reine Grundlagenforschung, die Asifa Akhtar mit ihrem Team leistet – ganz wie es dem Auftrag der Max-Planck-Gesellschaft entspricht. Wer

EPIGENETISCHE MECHANISMEN



GRAFIK: GCO NACH EINER VORLAGE DES MPI FÜR IMMUNBIOLOGIE UND EPIGENETIK

grundlegende biologische Mechanismen erforscht, noch dazu vorwiegend an Tauflieden, muss mit der Frage rechnen, welchen Beitrag diese Arbeit zum Wohle der Gesellschaft zu leisten vermag. „Um Krankheiten zu verstehen, ist Grundlagenforschung absolut essenziell. Wenn wir nicht wissen, wie unser gesunder Körper funktioniert, werden wir erst recht nicht wissen, was bei einer Erkrankung falsch läuft“, betont Akhtar. Oder wie es der Physiker Max Planck, der Namensgeber der Gesellschaft, einst auf den Punkt brachte: „Dem Anwenden muss das Erkennen vorausgehen.“ Den Beweis dafür hat Asifa Akhtar für ihre epigenetische Forschung längst erbracht: Gemeinsam mit ihrem Team und französischen Kollegen von der

Universität Dijon ist es ihr 2018 gelungen, die molekularbiologische Ursache für eine seltene Erkrankung zu entschlüsseln. Bei den betroffenen Kindern ist die geistige Entwicklung stark verzögert. Sie haben unter anderem Probleme beim Essen und mit der Körperspannung, ihr Gang ist oft instabil, und ihre sprachlichen Fähigkeiten gering oder gar nicht vorhanden. Warum das so ist, konnte bis vor Kurzem niemand sagen. Mit modernen Hochdurchsatzmethoden fahndete das französische Team gezielt nach Veränderungen im Erbgut der Betroffenen – und entdeckte dabei eine Mutation im sogenannten MSL3-Gen. „MSL3, das wussten wir zu diesem Zeitpunkt bereits, wirkt wie eine Art Lautstärkereger: Es ist in der Lage,



ein Gen präzise im benötigten Maß zu aktivieren“, erklärt Akhtar. Das mangelhaft agierende MSL3 beeinträchtigt auch das Enzym MOF in seiner Arbeit, fanden die Forschenden heraus. In der Folge können bestimmte Gene nur ungenügend mit Acetylresten versehen und dadurch nicht ausreichend abgelesen werden. Die gesamte Entwicklung gerät aus dem Gleichgewicht. Es ist wie bei einem Orchester, das eine Sonate verpatzt, weil die Flöte ihren Einsatz verschlafen hat und in der Folge alle anderen Instrumente aus dem Takt geraten.

Die gute Nachricht: Epigenetische Fehlregulationen lassen sich rückgängig machen – zumindest theoretisch. „Es gibt ein Medikament, das derzeit in der Krebstherapie eingesetzt wird. Es greift an genau dieser Stelle an“, berichtet Akhtar. In der Kulturschale ist es gelungen, den schädlichen Effekt des mutierten MSL3 durch den Wirkstoff auszugleichen. Der Weg von der Petrischale bis hin zur Anwendung ist natürlich noch weit. Aber es besteht Hoffnung, die kleinen Patienten eines Tages gezielt behandeln zu können.

musste in jeder Phase meiner Karriere hart arbeiten – das bekommt man nicht geschenkt“, betont sie. Dass ihr dabei auch noch der Spagat zwischen Familie und Wissenschaft gelungen ist, habe sie unter anderem einer guten Kinderbetreuung zu verdanken – angegliedert an die Forschungseinrichtungen, in denen sie gearbeitet hat. Einen großen Anteil habe aber auch ihr Ehemann, für den Gleichberechtigung kein Fremdwort ist. „Ein gut organisierter Alltag und ein verständnisvoller Partner sind enorm wichtig“, betont Akhtar.

Als Vizepräsidentin will Asifa Akhtar junge Forschende bei ihrer Karriere unterstützen – insbesondere junge Frauen. Sie will einen Beitrag leisten, um den Gendergap in der Wissenschaft zu schließen. „Die Natur hat es so vorgesehen, dass Frauen diejenigen sind, die Kinder bekommen und zunächst einmal ernähren“, sagt Akhtar. „Aber es liegt an uns, Bedingungen zu schaffen, dass eine wissenschaftliche Karriere trotzdem möglich ist.“ Dabei denkt sie nicht nur an eine entsprechende Infrastruktur und flexible Arbeitszei-

50

„Wenn beide Eltern Karriere machen wollen, muss es selbstverständlich sein, dass sie sich auch die Arbeit zu Hause teilen.“

Basilicata-Akhtar-Syndrom heißt die seltene Erkrankung heute, nach den beiden Freiburger Wissenschaftlerinnen, die den Mechanismus hauptverantwortlich aufgeklärt haben. Dass einmal eine Krankheit ihren Namen tragen könnte, hätte sich Asifa Akhtar als Kind wohl kaum vorstellen können. „Ich habe mir als junges Mädchen keine wissenschaftliche Karriere erträumt“, sagt sie. „Denn in Pakistan hatte ich dafür gar keine Vorbilder.“ Erst nach ihrem Studium, das sie mit einem Bachelor of Science abschloss, habe sie sich für eine Doktorarbeit entschieden: „Um zu erfahren, wie Wissenschaft funktioniert.“ Das brachte den Stein ins Rollen.

Ihre wissenschaftliche Bilderbuch-Karriere hat sie aber nicht allein ihrem Talent und ihrer Neugier zu verdanken. Dazu gehören auch eine große Portion Durchhaltevermögen und viel Einsatz. „Ich

ten. „Gleichberechtigung muss zu Hause beginnen“, sagt sie. „Wenn beide Eltern Karriere machen wollen, muss es selbstverständlich sein, dass sie sich auch die Arbeit zu Hause teilen.“ Und natürlich sei die Gesellschaft gefragt. Solange Frauen als Rabenmütter bezeichnet würden, wenn sie ihre Kinder früh in eine Betreuungseinrichtung geben, sei es kein Wunder, wenn sich viele nicht trauen, ihre Karriere voranzutreiben. „An dieser Stelle muss noch viel passieren“, fordert die Wissenschaftlerin.

Asifa Akhtars Forschung zeigt, dass die Natur es geschafft hat, Ungleichverteilungen zwischen den Geschlechtern mit ausgeklügelten Mechanismen zu kompensieren. Um Gleichberechtigung von Männern und Frauen auch in der Gesellschaft zu erreichen, müssen wir Menschen jedoch noch etwas tun.





Sunrise reloaded

Mit Sami Solankis ballongetragenem Observatorium SUNRISE werden im Sommer 2022 erneut die Magnetfelder der Sonne beobachtet.

51

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!

Die Stiftung fördert das Max-Planck-Institut für Sonnensystemforschung und unterstützt den dritten Flug des größten und auflösungsstärksten Sonnenteleskops, das je den Erdboden verlassen hat. Nur so kann besser erforscht werden, welchen Einfluss die Sonne auf das System Erde hat.

ANZEIGE

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

www.maxplanckfoundation.org



MAX PLANCK
Förderstiftung

VIREN AUS DER URZEIT

TEXT: CATARINA PIETSCHMANN

52

Es gibt kein Leben ohne Viren. Auf der Erde zumindest scheint kein Organismus von ihnen verschont zu werden. Susanne Erdmann und ihr Team vom Max-Planck-Institut für marine Mikrobiologie in Bremen erforschen die Viren von Archaeen, winzigen Einzellern ohne Zellkern. Dabei untersuchen die Forschenden virusähnliche DNA-Elemente, die erklären könnten, wie Viren eigentlich entstanden sind.

Als das Leben entstand, herrschte schlechtes Wetter, richtig schlechtes Wetter: Es regnete, und das ununterbrochen – 40000 Jahre lang. So entstanden die Ozeane. Auch sonst war die Erde damals ein eher unangenehmer Ort: Meteoriteneinschläge verwüsteten den noch jungen Planeten, Vulkane schleuderten Asche und schwefelhaltige Gase in die Atmosphäre. Und auf dem Meeresgrund in der Tiefsee sprudelte bis zu 300 Grad heißes, mineralstoffhaltiges Wasser aus Hydrothermalquellen.

Trotz aller Widrigkeiten entstand vor etwa vier Milliarden Jahren die erste Zelle: der „Last Universal Common Ancestor“, kurz: Luca, der letzte ge-

meinsame Vorfahr von Bakterien, Pilzen, Pflanzen, Tieren – und Archaeen. Die früher auch Archaeobakterien genannten Einzeller haben bis heute viele ihrer ursprünglichen Merkmale bewahrt: Die Zellen besitzen wie Bakterien keinen Zellkern und keine Organellen. Sie sind lediglich von einer einfachen Zellmembran aus Fettmolekülen umgeben, die nur bei Archaeen vorkommt. Außerdem werden sie von einer Proteinhülle geschützt. Neben Ähnlichkeiten mit Bakterien teilen Archaeen aber auch elementare Eigenschaften mit den Zellen mit Kern.

Und die Archaeen, die so ursprünglich sind, müssen sich auch mit urtümlichen Plagegeistern herumschlagen. „Man mag es kaum glauben, aber selbst diese im Schnitt gerade mal einen tausendstel Millimeter kleinen Zellen besitzen ihre eigenen Viren“, sagt Susanne Erdmann. Während über Viren von Bakterien viel bekannt ist, ist die Datenlage bei Archaeen

noch dünn. „Man kennt mehr als 3000 bakterielle Vireng Genome, aber nicht mal 300 von Archaeen. Knapp 100 der Viren wurden tatsächlich isoliert, und mit einer Ausnahme stammen alle aus extremen Umwelten.“ Haben die Viren von Bakterien schon skurrile Formen und ähneln manchmal Raumsonden, so sind die Viren von Archaeen in dieser Hinsicht noch kreativer. Ihr spindel- oder flaschenförmiges Äußeres findet man weder bei bakteriellen Viren noch bei solchen, die Zellen mit Zellkern befallen.

Für die Wirte nicht immer schädlich

Susanne Erdmann ist seit 2019 Gruppenleiterin am Max-Planck-Institut für marine Mikrobiologie in Bremen und erforscht die besondere Liaison von Archaeen und ihren Viren. „Jedes Virus, das ich bisher isoliert habe,



WISSEN AUS

— BIOLOGIE & MEDIZIN

In Südfrankreich verdunstet Meerwasser in künstlichen Teichen für die Salzgewinnung. Mikroorganismen verleihen dem Wasser je nach Salzgehalt unterschiedliche Farben. Solche extrem salzhaltigen Seen sind auch Lebensraum von Archaeen.

53



birgt eine Überraschung“, sagt die Biologin. Verblüffend ist besonders, dass sehr viele Viren den Wirten nicht zu schaden scheinen. Sie zerstören die Zellen nicht und haben nur einen minimalen Einfluss auf deren Wachstum. Warum das so ist, wollen die Forschenden herausfinden. Viren bestehen im Wesentlichen aus Erbgut und einer Kapsel aus Proteinen. Bei vielen Viren der Archaeen kommt noch eine Hülle aus Fettmolekülen hinzu. Sie sind keine Zellen und besitzen keinen eigenen Stoffwechsel.

Sie gelten deshalb auch nicht als lebende Organismen. Zur Vermehrung benötigen sie eine Wirtszelle. Erdmann und ihr Team wollen aus der urtümlichen Beziehung zwischen Wirt und Parasit auf die Entstehung und Evolution der Viren schließen. Könnte es sein, dass die heute häufig als Krankheitserreger auftretenden Partikel anfangs eine positive Wirkung auf ihre Wirte hatten? Was war ihre ursprüngliche Funktion, und wie haben sie sich zu dem entwickelt, was sie heute sind?

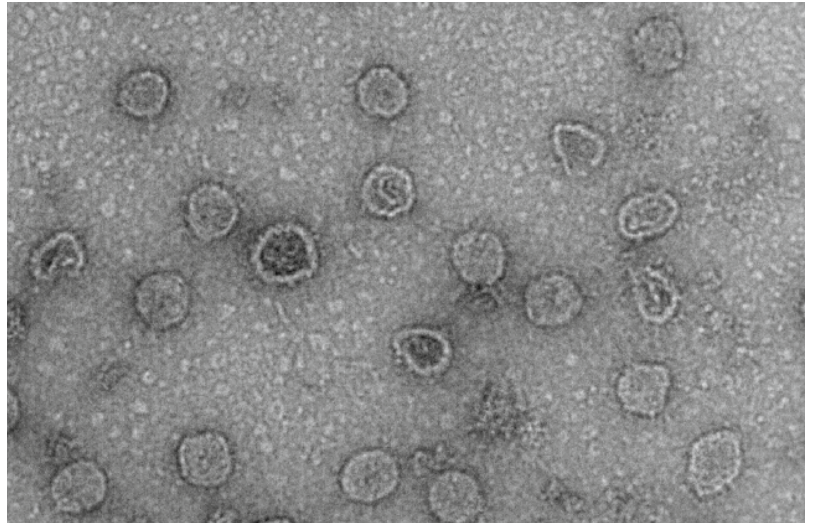
Manche Forschende vermuten, dass die Viren zuerst da waren. Zellen hätten sich demzufolge erst später aus den Partikeln entwickelt. Diese Hypothese setzt allerdings voraus, dass sich die ersten Viren auch ohne Zellen vermehren konnten. Dafür gibt es aber bislang keine Hinweise. Vielleicht waren die ersten Viren auch kleine, parasitäre Zellen, die innerhalb anderer Zellen lebten. Mit der Zeit könnten diese Parasiten einen Teil ihrer Gene verloren und sich immer stärker auf ihren Wirt verlassen haben. Die Ent-



Links:
Archaeen und ihre Viren sind so klein, dass Susanne Erdmann sie nur mit dem Elektronenmikroskop sichtbar machen kann.

Unten:
Die Elektronenmikroskopie-Aufnahme zeigt Pleolipo-Viren in 50 000-facher Vergrößerung. Die Erreger infizieren Zellen des Archaeons *Haloferax volcanii*, ohne ihnen zu schaden. Die Viren verlassen ihren Wirt, indem sie sich von der Zellmembran abschnüren. Sie besitzen eine Hülle aus Fettmolekülen (helle Kreise).

BILD: SUSANNE ERDMANN/MPI FÜR MARINE MIKROBIOLOGIE



deckung sogenannter Riesenviren stützt nach Ansicht einiger Forscher diese Vermutung. Manche dieser Viren übertreffen hinsichtlich der Körpermaße sogar Bakterien und besitzen mehr als 1000 Gene (Sars-CoV-2 besitzt lediglich rund 30 Gene).

Der Heidelberger Max-Planck-Wissenschaftler Matthias Fischer erforscht solche Riesenviren (siehe *Max Planck Forschung* 3/2019). Er vermutet allerdings, dass sie nicht aus Zellen, sondern aus kleineren Viren hervorge-

gangen sind, die im Laufe der Zeit mehr und mehr Gene ihrer Wirte übernommen haben. Es gibt nämlich auch die Theorie, dass Viren ursprünglich aus Teilen des zellulären Erbguts entstanden sind. Dabei wurden kleine Teile des Erbguts herausgeschnitten, die sich unabhängig vom Rest des zellulären Genoms vermehren. Diese Erbgutschnipsel könnten dann in einem Vesikel der Zellmembran aus der Zelle hinausgeschlüpft und in eine andere Zelle gelangt sein und mit der Zeit neue genetische In-

formationen gesammelt haben. „Die ersten ‚Viren‘ sind wahrscheinlich in Membranvesikeln von einer Zelle zur nächsten gewandert“, so Susanne Erdmann. Archaeen lieben extreme Lebensräume, in lebensfeindlichen Biotopen blühen sie regelrecht auf. *Pyrococcus furiosus* etwa kommt an heißen Quellen am Ozeanboden vor und hält dank hitzeunempfindlicher Proteine Temperaturen von bis zu 113 Grad Celsius aus. *Haloferax* wiederum kann es nicht salzig genug sein: Die Zellen leben im extrem salzhalti-



gen Toten Meer und fühlen sich auch in Meersalz-Gewinnungsanlagen wohl. Anderen wie *Sulfolobus alcidocaldarius* wäre sogar reiner Essig zu mild. Sie wachsen am besten bei einem pH-Wert von 2,0 in sauren, schwefelreichen vulkanischen Quellen. Aber Archaeen leben auch in ganz normalen Habitaten – jedoch auch hier nicht ohne Extravaganz. Manche von ihnen sind die einzigen Lebewesen, die Methan erzeugen können. Das Treibhausgas entsteht, wenn die Mikroben in Abwesenheit von Sauerstoff Biomasse zersetzen. Ihr Lebensraum: Ozean, Sümpfe, Reisfelder, schlammige Böden, aber auch der Verdauungstrakt mancher Pflanzenfresser.

Frühe Liebe

Das erste Mal hörte Susanne Erdmann von den eigenartigen Mikroorganismen während ihrer Ausbildung zur Krankenschwester. „Ich fand sie total cool – vor allem die aus extremen Lebensräumen.“ Die Mikroben mit ihrer unglaublichen Vielfältigkeit hatten ihr Interesse geweckt. Deshalb führte Erdmanns Berufsweg sie anschließend auch nicht ins Krankenhaus, sondern an die Uni Halle zum Biologiestudium. Während eines Praktikums in Kopenhagen hatte sie erstmals direkt mit Archaeen zu tun. „Ich durfte die Viren von Archaeen aus heißen Quellen untersuchen, das hat mir ungeheuer Spaß gemacht. Die sind noch sehr viel kleiner als die Archaeen selbst und trotzdem so unglaublich vielfältig und kreativ, wenn es darum geht, ihre Wirte zu kontrollieren. Dafür musste ich damals vier Wochen im Auto schlafen, weil ich im teuren Kopenhagen keine bezahlbare Unterkunft fand“, erzählt Erdmann. Für den praktischen Teil ihrer Diplomarbeit untersuchte sie dann die Proteine eines sehr ungewöhnlichen Archaeenvirus, das seine Form verändern kann, und isolierte während ihrer Doktorarbeit einige bis dahin unbekannte Viren.

Ganz besonders interessierte sich Susanne Erdmann auch für das Immun-

system der Archaeen, das sogenannte CRISPR-System. Diese Virenabwehr mit dem schwer aussprechbaren Namen ist in den letzten Jahren zu großer Berühmtheit gelangt. Die Aufklärung des Wirkmechanismus wurde im Herbst vergangenen Jahres mit dem Nobelpreis für Chemie ausgezeichnet. Die mit CRISPR verknüpfte Technik der Genomeditoring erlaubt es Forschenden, Veränderungen im Erbgut viel einfacher als früher vorzunehmen.

AUF DEN PUNKT GEBRACHT

Archaeen ähneln Bakterien, sind aber ein eigener Zweig, der sich früh vom übrigen Stammbaum des Lebens abgespalten hat. Einige ihrer ursprünglichen Eigenschaften haben Archaeen sich bis heute bewahrt.

Auch Archaeen werden von Viren befallen. Doch diese schaden ihren Wirten häufig nicht.

Forschende haben in Archaeen eine mögliche Übergangsform zwischen mobilem DNA-Element und einem Virus entdeckt. Dies stützt die These, dass Viren aus Abschnitten des zellulären Erbguts hervorgegangen sind, die sich mit einer Hülle umgeben und die Zelle verlassen können.

CRISPR ist ein adaptives Immunsystem, mithilfe dessen sich Archaeen und Bakterien spezifisch an ein bestimmtes Virus anpassen. Doch bei einigen der Viren, die Susanne Erdmann im Labor untersucht hat, springt das CRISPR-System nicht an – warum nicht, ist noch unklar. Vielmehr scheinen manche dieser Viren mit den Archaeen in einer Art Symbiose zu leben: Sie bleiben dauerhaft in den

Zellen, vermehren sich und schleusen Viruspartikel aus. Die Wirtszelle bleibt dabei intakt und erhält neue genetische Information im Austausch.

Nach ihrem Aufenthalt in Kopenhagen wechselte Susanne Erdmann an die Universität von New South Wales in Sydney. Der Lebensraum, der dort erforscht wird, hatte ihr Interesse geweckt: der Deep Lake in der Antarktis. Das Wasser des Sees ist mit Salzen gesättigt, sodass es auch bei großer Kälte nicht gefriert. Die Wassertemperatur am Grund des fast 40 Meter tiefen Gewässers liegt bei minus 14 Grad. „Die Lebewesen des Sees müssen also gleich doppelt leiden: unter dem hohem Salzgehalt und der Kälte. Vier Arten von Archaeen sind dem gewachsen, und sie machen fast 90 Prozent der gesamten Biomasse aus“, erzählt Erdmann.

Die Viren im See isoliert Erdmann aus Proben, die mithilfe feinsten Filter aufkonzentriert wurden, damit sie im Labor untersucht werden können. Gibt man typische Bakterienviren auf eine Kulturschale mit potenziellen Wirtszellen, bilden sich im Bakterienrasen dort Löcher, wo die Erreger die Zellen vernichtet haben. Da viele Archaeenviren ihre Wirtszellen nicht zerstören, sondern sich wie Membranvesikel von der Wirtszelle abschnüren, muss die Forscherin Zellen in Flüssigkultur halten und die Flüssigkeit dann auf mögliche Viruspartikel überprüfen. Auf diese Weise hat Susanne Erdmann mehrere bis dahin unbekannte Viren entdeckt.

Die Entdeckung eines ganz bestimmten virusähnlichen Partikels faszinierte sie besonders. „Wir haben sein Erbgut analysiert und festgestellt, dass es kein echtes Virus, sondern ein sogenanntes Plasmid ist, das in Vesikeln transportiert werden kann“, so Erdmann. Plasmide sind ringförmige DNA-Moleküle von Bakterien- und Archaeenzellen, die von Zelle zu Zelle weitergegeben werden können. Auf diese Weise können sich wichtige Eigenschaften wie zum Beispiel Antibiotikaresistenzen schnell in einer Population ausbreiten. Die Funktion der



57

Der Lake Tyrrell ist ein natürlicher Salzsee im Südosten Australiens. Für Susanne Erdmann ist er ein Eldorado, denn fast 90 Prozent der in ihm lebenden Organismen sind Archaeen. In dem für die meisten anderen Organismen tödlichen Gewässer hat die Wissenschaftlerin bislang unbekannte Archaeen und Viren entdeckt.

meisten Gene des Partikels sind noch unbekannt. Einige scheinen aber dafür zu sorgen, dass sich das Plasmid selbst in eine Art Membranvesikel verpackt. „Vermutlich handelt es sich um eine Zwischenform zwischen einem Plasmid, das zufällig in einem Vesikel gelandet ist, und einem Virus, das diesen Verpackungsvorgang aktiv betreibt. Es könnte also eine evolutionäre Vorstufe eines Virus sein.“

Transportmittel für Gene

Erfüllen Viren denn irgendeinen Zweck? „Wir vermuten, dass Viren ursprünglich als sehr nützliche Elemente zum Austausch von Informationen zwischen Zellen entstanden sind. Sie ver-

teilen Gene zwischen Organismen und erzeugen so Vielfalt. Das menschliche Genom etwa besteht zu acht Prozent aus Virusgenen. Sobald allerdings Informationen ausgetauscht werden und Organismen miteinander konkurrieren, können auch Elemente entstehen, die sich auf Kosten der anderen vermehren. So sind viele der heutigen Viren, die aus unserer Sicht ihren Wirten nur Schaden zufügen, vermutlich eine zwangsläufige Begleiterscheinung des Lebens.“ Nach den Vertretern der Antarktis möchte sich Susanne Erdmann außerdem im Bremer Max-Planck-Institut den Viren von Archaeen der gemäßigten Breiten zuwenden, zum Beispiel aus der Nordsee. Im Vergleich zum schwer zugänglichen Deep Lake klingt das Vorhaben zunächst einfacher. Tatsächlich bringt

es aber wieder andere Herausforderungen mit sich, denn im milden Meerwasser tummeln sich, anders als in dem eisigen See in der Antarktis, unzählige Mikroorganismen. Lediglich ein bis zwei Prozent davon sind Archaeen, und genau die müssen die Forscherin und ihr Team ausfindig machen und isolieren.

In den kommenden Jahren will sich die Wissenschaftlerin unter anderem weiter auf die Evolutiongeschichte von Viren konzentrieren. „Mein Traum wäre es, weitere Viren und virusähnliche Elemente zu finden, die uns helfen, Viren besser zu verstehen“, sagt Erdmann. Dann ließe sich die ganze Evolutiongeschichte von Wirt und Virus erzählen – angefangen in der Zeit, als die Erde noch wüst und leer war.



DAS IMPERIUM IST ZURÜCK

TEXT: JEANNETTE GODDAR

58

Die Habsburgermonarchie und das Osmanische Reich sind Vergangenheit – doch in vielen europäischen Städten leben sie fort: So kultiviert man in Wien die Erinnerung an die Türkenbelagerungen und ignoriert dabei Zehntausende Wienerinnen und Wiener, die aus der Türkei stammen. Mit der Gegenwart untergegangener Imperien befasst sich das Team um Jeremy Walton am Max-Planck-Institut zur Erforschung multireligiöser und multiethnischer Gesellschaften in Göttingen.

Wer Wien besichtigt, setzt sich gern so traditionsreich wie bequem in eine der zahllosen Kutschen, die den ganzen Tag in der Innenstadt um Kundenschaft werben. Die „Fiaker“, von denen so mancher seine Gäste noch im 21. Jahrhundert mit „Gnä’ Frau“ und „die Herrschaften“ anspricht, bringen einen zum Stephansdom und zur Hofburg, zu den Schlössern Schönbrunn und Belvedere, in den Prater. Man könnte auch sagen: Eine typische erste Begegnung führt nicht durch die Hauptstadt Österreichs –

sondern durch das Zentrum der Habsburger Dynastie, die vor etwas mehr als hundert Jahren endete. Dabei geht die Tour auch – mal mehr, mal weniger deutlich – vorbei an Spuren, welche die zweifache Belagerung durch das Osmanische Reich hinterließ. 1529 und 1683 standen dessen Truppen vor der Hauptstadt der Donaumonarchie; glücklos, doch im Stadtbild wie in der österreichischen Geschichtsschreibung bis heute fest verankert. Sogar die wichtigste Kirchenglocke im Stephansdom – so etwas wie ein Nationalheiligtum der Österreicher – wurde 1711 überwiegend aus dem Metall von Kanonen osmanischer Truppen gegossen. Die erste Glocke sauste 1945 nach einem Brand in die Halle am Fuße des Südturms – und zerstörte ausgerechnet das „Türkenbefreiungsdenkmal“. Heute steht dort eine Tafel, die, auf Lateinisch, sagt: „Einst in der türkischen Not zu Hilfe kam rettend Maria. Stolze Gestalten in Stein zeugten vom Dank ihrer Stadt.“

Die Geschichte ließe sich forterzählen: An einer Reihe Wiener Häuser erinnern golden schimmernde „Türkenkugeln“ an den Kanonenbeschuss. Es gibt osmanische Reiterfiguren aus Stein, einen Türkenschanzpark und natürlich jede Menge Denkmäler mit siegreich-stolzen Habsburgern. Und sogar das Dach des ab 1712 erbauten Schlosses Belvedere wurde osmanischen Zelten nachempfunden, die einst hier standen. „Wer einmal anfängt, sich mit den Spuren dessen zu befassen, was hier ‚Erste und Zweite Türkenbelagerung‘ heißt, stellt fest: Es hört nicht auf! Allein in Wien gibt es mehr als hundert Orte, die daran erinnern – in ganz Österreich noch weit mehr“, erklärt Annika Kirbis. Die aus Deutschland stammende Sozial- und Kulturanthropologin, die am Max-Planck-Institut zur Erforschung multireligiöser und multiethnischer Gesellschaften in Göttingen promoviert, zog zunächst für ihr Masterstudium nach Wien. Statt mit der Vergangenheit hatte sie sich ei-

→

Wiederbelebter Nationalheld: Ban Josip Jelačić, einst Feldherr der Habsburger, wird heute in Kroatien teilweise wieder verehrt. Zur Fußball-WM 2018 schmückten Fans seine Statue in Zagreb mit den Farben des kroatischen Wappens.



FOTO: DREAMTIME

gentlich mit der Gegenwart von Zuwanderern aus der Türkei befassen wollen. Doch zunächst einmal führte jede Datenbank- oder Suchmaschinen-Recherche mehrere Hundert Jahre zurück – obwohl auch in Österreich nach Jahrzehnten von Gastarbeit, Familiennachzug und Integration 200 000 bis 300 000 Menschen türkischer Herkunft leben.

Die Enkel der Osmanen

Doch was macht das Leben inmitten all der Symbolik mit denen, deren Wurzeln im einstigen Reich der Osmanen liegen? Um das herauszufinden, führte Annika Kirbis, oft bei Stadtspaziergängen, Interviews mit türkischen Wienerinnen und Wienern.

Die Antworten fielen sehr unterschiedlich aus: Einigen waren all die Denkmäler über Jahrzehnte verborgen geblieben; andere fühlten sich von der Darstellung säbelschwingender Reiter in Pluderhosen vor den Kopf gestoßen. Manche erzählten ihr, Besuche an Orten der entscheidenden Schlachten seien bei Besuchern aus der Türkei beliebt – statt als Niederlage empfänden sie einen gewissen Stolz, dass die Türken bis vor Wien gekommen sind. Andere, die als Türken wahrgenommen werden, sich selbst aber nicht so verstehen – Kurden zum Beispiel –, hätten augenzwinkernd so etwas angemerkt wie: „Toll, dass ihr die rausgeschmissen habt.“ Je länger Kirbis recherchierte, desto fragmentierter erwiesen sich die Erinnerungen. Zugleich wurde ihr deutlich: „Auch in migrationsgesellschaftlichen Debatten, in Reden

über Integration, bei diskriminierenden Äußerungen wird die Geschichte immer noch mitverhandelt, mal mehr, mal weniger bewusst, häufig schlicht durch eine gewisse Belagerungsrhetorik, in die man in Wien bis heute gleichsam hineinsozialisiert wird.“

Handfeste Beispiele dafür, dass Geschichte durchaus bewusst wachgehalten wird, sind ebenfalls nicht schwer zu finden. So lud die rechtspopulistische FPÖ am Jahrestag des Sieges der Habsburger im September 2020 zur „Befreiungsfeier“ – um, wie der Wiener Vizebürgermeister mitteilte, „darauf hinzuweisen, dass wir keine islamistischen Parallelgesellschaften (...) tolerieren“. Der türkische Präsident Recep Tayyip Erdoğan wiederum rief im Jahr 2014 seinen Anhängern in Wien bei einem Besuch kurz vor den Wahlen in der Türkei zu, sie seien alle „Enkel von Sultan Süleyman und Kara Mustafa“ – Nachfahren der Männer, welche die Erste und die Zweite Türkenbelagerung angeführt hatten. Das Betonen kollektiver Stärke, die Sicherung politischer Macht im Dienst einer nationalen Erzählung seien „typische Anlässe, Geschichte zu ‚reimperialisieren‘“, erklärt der Anthropologe Jeremy Walton. Verallgemeinern lasse sich das allerdings nicht: Auch Religion und Ästhetik spielten eine Rolle, ebenso die Alltagskultur: „Selbst in der Mode finden sich Anleihen an längst untergegangene Reiche.“ Walton leitet die Forschungsgruppe „Empires of Memory. The Cultural Politics of Historicity in Former Habsburg and Ottoman Cities“, in deren Rahmen Kirbis promoviert.

Waltons eher zufällige Annäherung an das Thema ähnelt jener von Annika Kirbis frappierend. Der gebürtige US-Amerikaner zog vor rund fünfzehn Jahren für seine Promotion zur muslimischen Zivilgesellschaft in die Türkei: „Das Osmanische Reich hatte ich zunächst überhaupt nicht im Fokus. Doch allerorten wurde es neu verhandelt und wieder ins Bewusstsein gerufen, teils übernahmen klei-

60

Erinnerungskultur im 19. Jahrhundert: Mit diesen „Türkenköpfen“ schmückte die Bevölkerung in Kärnten und Südtirol ihre Dorfbrunnen. Heute gehören die Köpfe zur Sammlung des Volkskundemuseums in Wien.



FOTO: ANNIKA KIRBIS/AMPI ZUR ERFORSCHUNG MULTIRELIGIÖSER UND MULTIETHNISCHER GESELLSCHAFTEN



Erinnerungskultur anno 1983:
Anders als die Gedenktafel suggeriert, wurde dieses Wiener Haus nicht von den Osmanen zerstört, sondern von den Wienern selbst. Sie steckten die Vororte in Brand, um dem Feind die Möglichkeit zu nehmen, sich zu verschanzen.

nerer islamische Organisationen sogar die Kosten für die Renovierung von Denkmälern“, erzählt er. Zur Erinnerung: Damals war Erdoğan, der sich inzwischen seit Jahren als postmoderner Sultan inszeniert, gerade erst im Amt, die Türkei noch ein weit stärker vom Republikgründer Kemal Atatürk geprägter säkularer Staat.

So entstand, sehr verkürzt, die Forschungsgruppe, die acht Städte in den Fokus nimmt, die einst zur Habsburgermonarchie und/oder zum Osmanischen Reich gehörten – und

heute in acht verschiedenen Ländern liegen. Walton teilt sie grob in Zweiergruppen ein: Zu Wien und Istanbul als einstigen Zentren der Imperien kommen Budapest und Sarajevo, die beide sowohl von Habsburgern wie von Osmanen regiert wurden und in denen das öffentliche Leben wie die politische Debatte bis heute von beiden geprägt ist. Außerdem, drittens, Thessaloniki und Triest, einst wichtige Hafenstädte, die beide in Ländern liegen, die sich gerade nicht als Nachfolger der jeweiligen Reiche verstehen: in Griechenland, wo im frü-

hen 20. Jahrhundert die Vertreibungen der griechischen Bevölkerung von türkischem Boden tiefe Spuren hinterlassen hat, und in Italien, das sehr bewusst darauf pocht, dass die 1919 angegliederten Gebiete Südtirol, Trentino und der Küstenstreifen an der nordöstlichen Adria unanfechtbar italienisches Territorium sind. Walton selbst forscht mit Sitz im einst habsburgischen, heute kroatischen Zagreb, das zusammen mit dem einst osmanischen und heute serbischen Belgrad das vierte Paar bildet: „Zu sehen, wie in den beiden Städten neben



FOTO: KLAUS PICHLER / WIEN MUSEUM



62

der imperialen die noch junge sozialistische Vergangenheit mitverhandelt wird, fügt noch einmal eine Schicht hinzu, die enorm spannend ist“, erklärt Walton. Die Fragen, um die sich die Forschung der interdisziplinären Gruppe rankt, sind ganz verschieden, ebenso die Zugänge und Methoden, mit denen sie Denkmäler, urbane Planung, Kulturgüter, Diskurse und kollektive Erinnerungen erforschen. Was sie eint, ist – „Empires of Memory“ – ein Bezug auf die Gedächtnisstudien, ein Ansatz, der vor allem von der deutschen

Holocaust-Forschung in den vergangenen Jahrzehnten etabliert wurde. Der Forschungsansatz befasst sich nicht anhand offizieller Dokumente mit historischen Ereignissen, sondern durch eine Annäherung an das, was aus der Geschichte in die gemeinsame Erinnerung und damit in eine gesellschaftliche Gesamterzählung eingeflossen ist.

Um zu untersuchen, wie die Erzählung der Belagerungen die Erinnerung der heutigen Migrationsgesellschaft beeinflusst, bringt Annika Kirbis

„Selbst in der Mode finden sich Anleihen an längst untergegangene Reiche.“

JEREMY WALTON



Geteilte Erinnerung: Eine andere Perspektive auf die österreichische Geschichte eröffnete vor drei Jahren das Wien Museum mit einer Ausstellung über das Leben von „Gastarbeitern“, von denen viele aus der Türkei stammen.

beschreibt, ist von Universalität noch etwas entfernt. Sie beobachtete das Projekt „Migration sammeln“, das die Stadt mit dem Wien Museum in Auftrag gegeben hatte und für das Gegenstände und Bilder von türkischen und jugoslawischen Wienern eingesammelt wurden, oftmals mit Unterstützung von Migrantenorganisationen. Unter dem Titel *Geteilte Geschichte. Viyana – Beć – Wien* wurden sie schließlich ausgestellt. Und dann, sagt Kirbis, „fand im ersten Stock des Museums rechts von der Treppe eine Ausstellung zu Migration statt und links die ständige Ausstellung, in der weite Teile der Türkenbelagerung gewidmet sind.“

Neuer Kontext für alte Denkmäler

„Kann man Geschichte so erzählen?“, fragt Annika Kirbis, und sie gibt die Antwort im Grunde bereits in dem, zurzeit noch vorläufigen, Titel ihrer Promotion: „Weltstadt ohne Migranten? Transnationale Erinnerungen und postimperiale Nostalgie in Wiens städtischem Erbe“. Die Wissenschaftlerin plädiert dafür, Migrationsgeschichte nicht als „Lücke im Gedächtnis der Stadt“ zu begreifen, sondern mit einer kollektiven Erinnerung zu arbeiten, die unterschiedlichen Perspektiven Raum gibt. „Viele Migranten machen die Erfahrung, trotz österreichischer Staatsangehörigkeit keine Zugehörigkeit zu erleben, sondern – befördert durch eine Erzählung, die lediglich die Mehrheitsgesellschaft spiegelt – als anders angesehen und ausgeschlossen zu werden.“ Die Forscherin verweist auf eine in Deutschland lebhaft debattierte Parallele: die schulische Vermittlung von Erinnerung an den Holocaust: „Wie führt man Jugendliche, deren Vorfahren keine deutsch geprägten Erinnerungen haben, an dieses Thema heran? Ein, wenngleich gut gemeintes ‚Eure Großeltern waren ja nicht dabei‘ schließt diese Schüler aus – und verhindert auf diese Weise, dass das Ge-

denken an den Holocaust in einer Einwanderungsgesellschaft lebendig bleibt.“

Analog stellt sich die Frage: Wie schafft man, am Beispiel der Belagerung von Wien, eine perspektivenreichere Erzählung? „Wichtig wäre, sich zunächst einmal in eine kritische Distanz zu versetzen und zu fragen: Welche Erinnerung hält diese Stadt wach? Entspricht es der heutigen Gesell-

AUF DEN PUNKT GEBRACHT

Imperien wie die Habsburgermonarchie und das Osmanische Reich leben in der kollektiven Erinnerung fort, ihr Mythos wird vielfach gepflegt.

In Wien erinnern zahlreiche Denkmäler an die Türkenbelagerungen von 1529 und 1683, pflegen das Feindbild „Türke“ und grenzen so Zuwanderer aus der Türkei aus.

Die Forschung beginnt gerade, die Bedeutung untergegangener Großreiche für die Gegenwart aufzuarbeiten; sie rät zu einem reflektierteren Umgang mit der imperialen Vergangenheit.

die Gedächtnisforschung mit Ansätzen aus der Anthropologie, den Literatur- und Museumswissenschaften zusammen. Ein Fokus liegt auf dem Wien Museum, das die Städtischen Sammlungen der österreichischen Hauptstadt beherbergt. „Die Sammlung zu den Türkenkriegen – die sogenannte Türkenbeute – bildete den Grundstock für die Gründung des Museums“, erzählt sie. Heute beschreibt es sich selbst als „urbanes Universalmuseum“, ist allerdings derzeit wegen Umbau geschlossen. Was Annika Kirbis aus der Zeit zuvor

schaft?“, erwidert Kirbis. In einem nächsten Schritt könnten die bereits vorhandenen Denkmäler zur Belagerung in einen Kontext gestellt werden: „Warum erzählt man nicht mit, in welcher Zeit während welcher kollektiven Wahrnehmung sie errichtet wurden?“ Dabei würde man sich etwa der Frage widmen: Wie wurde 1933 an die Belagerungen erinnert? Und wie zur 300-Jahr-Feier 1983? Zugleich würde Raum entstehen für die



Frage, welche Bilder bis heute unreflektiert wiederholt werden und welche eher weniger in eine kollektive Erinnerung eingeflossen sind: So brachten die Osmanen auch den Kaffee mit, der erst all die Wiener Kaffeehäuser möglich machte, und auch das sichelförmige Vanillekipferl ist der Legende nach vom islamischen Halbmond inspiriert. Kirbis: „Den meisten Wienern sind diese Einflüsse schon bewusst. Bislang haben sie allerdings noch nicht dazu geführt, all jene Bilder abzuschwächen, die bis heute das ‚Feindbild Türke‘ transportieren.“ Insgesamt, folgert sie, sei es mit dem Hinzufügen von ein paar zusätzlichen Erinnerungen hier und da ohnehin nicht getan: „Migrationsgeschichte fordert dazu auf, bestehende Erzählungen, wie jene zur Belagerung, zu hinterfragen und ganz neu zu denken.“

Zu beschreiben, welche Bilder und Symbole wachgehalten und dabei nicht selten auch passend zur jeweiligen Ära modifiziert werden, ist nicht die einzige Herausforderung der Forschungsgruppe. „Am interessantesten ist oft, was nicht gezeigt wird – weil es zutage treten lässt, was gezeigt und was zum Schweigen gebracht werden soll“, erklärt Jeremy Walton. Hier allerdings setzt auch das größte Problem der Gedächtnisstudien an: Was nie bewahrt wurde, konnte nicht in die kollektive Erinnerung eingehen. „Wie finden wir heraus, was bereits in früheren Zeiten unterdrückt wurde?“, fragt Walton und ergänzt: „Wo uns das nicht gelingt, muss uns zumindest bewusst sein, dass es Lücken gibt.“ Dafür, dass diese und andere Fragen rund um die Habsburgermonarchie und das Osmanische Reich weiterhin beantwortet werden,

ist gesorgt. Nach dem Auslaufen der Forschungsgruppe am Max-Planck-Institut in Göttingen wird Jeremy Walton noch in diesem Jahr mit einer Förderung des Europäischen Forschungsrates an die kroatische Universität Rijeka wechseln. Der Titel der künftigen Gruppe ist der Rückkehr aus dem Reich der Toten – oder auch nur Totgeglaubten – entlehnt: „REVENANT: Revivals of Empire – Nostalgia, Amnesia, Tribulation“. Das Imperium ist zurück, zumindest als Wiedergänger.

←

Glorifizierung alter Zeiten: Im ungarischen Szigetvár errichtete die Türkei in den 1990er-Jahren am Ort einer historischen Schlacht die monströsen Büsten des osmanischen Sultans Süleyman (rechts), und seines Gegners, des Feldherrn Miklós Zrínyi.



FOTO: JEREMY WALTON/MPF ZUR ERFORSCHUNG MULTIRELIGIÖSER UND MULTIETHNISCHER GESELLSCHAFTEN

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

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



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

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

NERVENGERÜST AUS DEM REAGENZGLAS

TEXT: ANDREAS KNEBL

66 Taubheit, Bewegungslosigkeit und im schlimmsten Fall eine Querschnittslähmung – die Durchtrennung einer Nervenbahn hat oft bleibende Folgen. Denn bei der Verletzung wird auch die extrazelluläre Matrix beschädigt, die den Neuronen Halt gibt. Tanja Weil und Christopher Synatschke, die am Max-Planck-Institut für Polymerforschung in Mainz arbeiten, suchen einen Ersatz für das stützende Material, und sie sind bereits fündig geworden.

Tanja Weil ging der Sache auf den Grund. Kollegen hatten eine rätselhafte Beobachtung an einem Peptid aus der Hülle des HI-Virus gemacht. Peptide bestehen aus Aminosäuren, den Grundbausteinen aller Proteine, und erfüllen unzählige Funktionen in lebenden Organismen. Bei den Peptiden aus der HI-Virushülle stellte sich die Frage, welche Rolle sie bei der Infektion von Wirtszellen spielen. Erste Tests zeigten, dass sich die Wirkung der Peptide veränderte, wenn

sie längere Zeit in einer Lösung herumbanden. Als die Forschenden um Tanja Weil die fragliche Lösung untersuchten, stellten sie fest, dass sich die Peptide darin nach einiger Zeit zu Fibrillen anordneten. Deren faserige Struktur bewirkte, dass die Peptide klebrig wurden und sowohl dem HI-Virus als auch der Wirtszelle Halt boten. „In den Aufnahmen des Rasterelektronenmikroskops konnte man richtig sehen, wie sich die Zellen an den Fibrillen festklammerten“, erzählt Weil. Mit dieser zufälligen Entdeckung begann ein ganz neues Forschungsprojekt.

Die Polymerchemikerin Tanja Weil war zu diesem Zeitpunkt an der Universität Ulm tätig, und ihre Beobachtung sprach sich schnell im Kreise ihrer Kolleginnen und Kollegen herum. Auch Bernd Knöll horchte auf. Der Zellbiologe beschäftigt sich mit thera-

peutischen Ansätzen zur Reparatur verletzter Nerven und hatte damals sein Büro auf demselben Flur wie Tanja Weil. Die kurzen Wege ermöglichten einen regen Austausch, und so entwickelten die beiden die Idee, die Peptidfibrillen als Rankengerüst für Nervenzellen zu nutzen.

Ersatz für die stützende Matrix

Der Forschungsansatz war folgender: Wenn sich Wirtszellen des HI-Virus an den Peptidfibrillen festklammern können, wäre es gut möglich, dass auch Nerven daran Halt finden. Bestätigte sich diese Annahme, könnten die Peptidfibrillen verletzten Nerven dabei helfen zu heilen. Von selbst wachsen durchtrennte Nervenfasern zumeist nicht mehr zusammen, was



Chemische Maßarbeit: Ein Mainzer Max-Planck-Team erzeugt im Labor gezielt Peptide, die Netzwerke bilden. Peptidstrukturen sollen die Heilung von Nerven unterstützen.

FOTO: KATRIN BINNER FÜR MPG



Taubheit und Lähmung zur Folge haben kann. Ein tiefer Schnitt in die Hand zum Beispiel kann dazu führen, dass man einen Finger nicht mehr spürt oder bewegen kann. Zur selbstständigen Heilung fehlt einem Nerv nach einer schweren Verletzung die nötige Unterstützung. Denn etwa bei einem Schnitt wird nicht nur der Nerv beschädigt, sondern auch seine extrazelluläre Matrix. Dieses komplexe Proteingerüst gibt den Nerven Halt. Wenn es fehlt, entsteht eine Lücke, welche die beiden Enden des verletzten Nervs nicht überbrücken können. Deshalb hilft derzeit nur eine Operation, um den durchtrennten Nerv zu heilen. Dabei versuchen

Ärzte, die beiden Nervenenden miteinander zu vernähen oder durch ein Nervenstück zu verbinden, das sie an einer anderen Körperstelle entnommen haben. Der Ansatz von Bernd Knöll und Tanja Weil ist ein anderer. Sie bauen darauf, dass Peptide, die in die Wundstelle eingebracht werden, die extrazelluläre Matrix ersetzen und so eine Regeneration der Nerven ermöglichen.

Die Zusammenarbeit lief auch weiter, nachdem Tanja Weil als Direktorin ans Max-Planck-Institut für Polymerforschung in Mainz gewechselt war. Dort stieß Christopher Synatschke zu ihrem Arbeitskreis „Synthese von

Makromolekülen“. Der Chemiker hatte bereits in verschiedenen internationalen Arbeitsgruppen Erfahrung mit Peptiden gesammelt. Als Postdoktorand und später Gruppenleiter übernahm er nun im Arbeitskreis von Tanja Weil die Verantwortung für das Kooperationsprojekt mit Bernd Knöll. Zwei Jahre später meldete das Team einen ersten Erfolg: Durch den Einsatz von Peptidfibrillen war es den Forscherinnen und Forschern gelungen, die Regeneration verletzter Nerven zu verbessern.

Tanja Weil und Christopher Synatschke sind sich einig, dass selbstorganisierende Peptide wie die Sequenzen aus

Auf dem Weg zu einer neuen Therapie: Tanja Weil und Christopher Synatschke suchen nach Peptidstrukturen, mit denen sich Nervenschäden behandeln lassen – langfristig vielleicht sogar Rückenmarksverletzungen.

68

FOTO: KATRIN BINNER FÜR MPG



der HI-Virushülle der ideale Ersatz für die extrazelluläre Matrix sind. „Damit können wir die Natur imitieren“, sagt Christopher Synatschke. „Wir erzeugen eine Struktur, welche der natürlichen Umgebung der Nerven nahekommt, gleichzeitig aber wesentlich einfacher ist.“ „Selbstorganisierend“ bedeutet, dass die Peptide sich ohne äußeren Einfluss zu größeren Strukturen zusammenbauen – sich assemblieren, wie es im Fachjargon heißt. Manche dieser selbstassemblierenden Peptide, kurz SAP, bilden Fibrillen. Diese Fasern sind lediglich circa 10 Nanometer dünn und 0,1 bis 1 Mikrometer lang. Aus den Fibrillen mancher SAP formen sich größere

Netzwerke. Diese können Nervenfasern, die bis zu 20 Mikrometer dick sind, als Gerüst dienen. Zum Vergleich: Ein menschliches Haar hat einen Durchmesser von rund 50 Mikrometern.

Die Besonderheiten der SAP entstehen aus dem Zusammenspiel der einzelnen Bausteine. Die Peptide, mit denen Christopher Synatschke arbeitet, bestehen nur aus wenigen Aminosäuren; die Abfolge dieser Bausteine wird als Sequenz bezeichnet. Jede dieser Aminosäuren hat bestimmte Eigenschaften. So kann ein Baustein beispielsweise an der Oberfläche positiv geladen sein, während der nächste hydrophob ist, das heißt wasserabweisend. Aus den Merkmalen der einzelnen Aminosäuren ergeben sich in der Peptidverbindung völlig neue und nicht leicht vorhersagbare Eigenschaften, wie zum Beispiel die Neigung, Fibrillen zu bilden.

Variantenreiche Peptidstrukturen

Um besser zu verstehen, wie Peptidsequenz und Selbstorganisation zusammenhängen, untersuchten Christopher Synatschke und seine Kolleginnen und Kollegen zahlreiche Sequenzen. Ganz gezielt Peptide mit einer gewünschten Abfolge von Aminosäuren herzustellen, ist das Spezialgebiet von Synatschkes Team. Am Ende der Peptidsynthese erhalten die Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler SAP als Pulver, das sie in ein Lösungsmittel geben und mit Wasser vermischen. Neben der Sequenz spielen auch die Bedingungen in der Lösung eine Rolle für das Verhalten der SAP. Wenn die Forschenden verändern, wie sauer oder basisch die Lösung ist oder wie lange und bei welcher Temperatur sie gelagert wird, dann ändern sich auch die Eigenschaften der Struktur, die aus den SAP entsteht. Seine Experimente startete Christopher Synatschke mit 27 Sequenzen, die auf dem 2011 entdeckten Peptid aus der HI-Virushülle basieren. Seine Arbeitsgruppe untersuchte zunächst,

ob und, wenn ja, in welchem Maße die verschiedenen Peptidsequenzen zur Bildung von Fibrillen führen. In Zusammenarbeit mit Bernd Knölls Arbeitsgruppe brachten die Forschenden im nächsten Schritt die verschiedenen Materialien jeweils als dünne Schicht auf ein Glasschälchen auf. Darin kultivierten sie anschließend Nervenzellen. Unter dem Mikroskop beobachteten die Forschenden dann, ob die Zellen auf dem Untergrund Halt fanden und, wenn ja, wie gut die Nervenfasern wuchsen.

AUF DEN PUNKT GEBRACHT

Durchtrennte Nervenbahnen heilen meist nicht von selbst, da die extrazelluläre Matrix, die sie umgibt, ebenfalls beschädigt ist.

Am Max-Planck-Institut für Polymerforschung ersetzen Forschende die Gerüststruktur verletzter Nerven durch Fibrillen bildende Peptide, damit die Nervenenden wieder zusammenwachsen können.

Bei Mäusen heilten durchtrennte Gesichtsnerven besser, wenn ihnen eine Lösung mit selbstassemblierenden Peptiden (SAP) gespritzt wurde.

Langfristig möchte das Forscherteam auch einen Weg finden, mithilfe der SAP Nervenverletzungen beim Menschen zu heilen.

Tanja Weil betont, wie wichtig diese grundlegenden Untersuchungen sind. Im Gegensatz zur hochkomplexen extrazellulären Matrix der Nerven sind die Peptidgerüste vergleichsweise einfach aufgebaut. Aus diesem Grund können die Forschenden wissenschaftliche Studien durchführen, die



schnelle Fortschritte ermöglichen. „Da wir die Bausteine der SAP kennen, können wir sie einzeln austauschen und auf diese Weise die Eigenschaften verändern. Anschließend können wir die Struktur genau untersuchen, die Wirkung der SAP im biologischen System studieren und daraus lernen.“

Dabei fanden die Forschenden schnell mehrere Eigenschaften, die für die Interaktion zwischen SAP und Nerven wichtig sind. So interagieren SAP, deren Oberfläche elektrisch positiv geladen ist, stark mit Nervenzellen. Wichtig ist zudem, wie viele der gelösten SAP sich zu Fibrillen aneinandergelagert. Ist dieser Anteil groß, eignen sich die Peptide besonders gut als Rankhilfe. Das Forschungsteam stellte darüber hinaus fest, dass SAP, die dickere Fasern bilden, Nerven

eine bessere Grundlage bieten. Doch ein Blick auf alle 27 Sequenzen stellte Christopher Synatschke vor ein Rätsel: Da gab es Peptidsequenzen, die positiv geladen und in hohem Maß Fibrillen bildend waren, aber den Nervenzellen in den Glasschälchen doch nicht als Gerüst dienten. Was den Peptiden fehlte, fand das Mainzer Team erst in Zusammenarbeit mit Tuomas Knowles von der University of Cambridge heraus: Knowles wurde in den Infrarotspektren der verschiedenen SAP fündig. Seine detaillierte Auswertung zeigte, dass die SAP, die besonders als Nervengerüst geeignet sind, relativ viele β -Faltblätter bilden. Diese Struktur der Aminosäureketten sieht auf molekularer Ebene wie eine Ziehharmonika aus oder eben wie ein im Zickzack gefaltetes Blatt Papier und beschreibt, wie sich die einzelnen Peptidketten innerhalb der

Fibrillen anordnen. Damit fanden Christopher Synatschke und Tanja Weil eine weitere entscheidende Eigenschaft, die SAP als Gerüst für Nerven mitbringen müssen.

Die drei besten der 27 Kandidaten von Christopher Synatschke testete das Team um Bernd Knöll dann an lebenden Mäusen, die durch eine Verletzung des Gesichtsnervs die Kontrolle über ihre Tasthaare verloren hatten. An den Stellen, an denen die Nerven durchtrennt waren, injizierten die Forschenden eine Lösung von SAP. Dann untersuchten sie über die nächsten drei Wochen, wie sich die Nervenfasern regenerierten. Zunächst sahen sie keinen deutlichen Unterschied zwischen Mäusen, denen sie Peptide gespritzt hatten, und der Kontrollgruppe. Doch im weiteren Verlauf zeigte sich, dass die Nerven besser heilten, wenn ein Peptidgerüst die verletzte extrazelluläre Matrix ersetzte. Eine Voraussetzung dafür war, dass die Peptidstrukturen über den gesamten Heilungsprozess als stabiles Gerüst in der Wundstelle blieben, obwohl sie biologisch abbaubar sind.

Verbesserte Nervenfunktion

Den positiven Einfluss des Peptidgerüsts auf die Regeneration des Gesichtsnervs belegten die Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler anhand verschiedener Beobachtungen: Im Gewebe der Mäuse wiesen sie nach, dass die Nerven, die durch ein Peptidgerüst unterstützt wurden, besser zusammenwuchsen als die Nerven von Mäusen aus der Kontrollgruppe. Dieses Ergebnis bestätigte sich auch bei der Funktionskontrolle: Die Mäuse, denen die Forschenden eine Lösung aus Gerüste bildenden Peptiden injiziert hatten, erholten sich besser von der Verletzung und konnten nach drei Wochen ihre Tasthaare kontrollierter bewegen als die anderen Tiere.

Die Versuche in den Glasschälchen und an den Mäusen machten klar, dass die

Heilsamer Halt: Die fluoreszenzmikroskopische Aufnahme zeigt, wie sich eine Nervenzelle (grün) mit speziellen Proteinen (rot) an aneinandergelagerte Nanofasern (violett) aus Peptiden heftet.

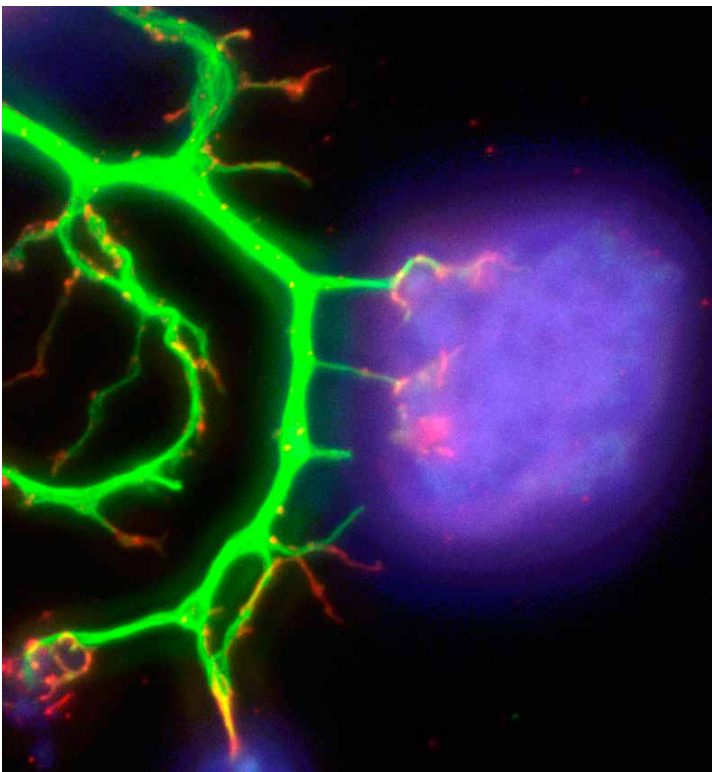


BILD: BERND KNÖLL/MPI FÜR POLYMERFORSCHUNG

Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler mit den SAP ein ideales Material gefunden haben. „Durch die genaue Charakterisierung haben wir ein Verständnis der grundlegenden Zusammenhänge entwickelt“, sagt Christopher Synatschke. „Darauf wollen wir in Zukunft aufbauen.“ Zusammen mit der Arbeitsgruppe ihres Kollegen Tristan Bereau fahnden die Forschenden nun im Computer nach Peptidsequenzen, die noch besser als Nervengerüst geeignet sind als die Sequenzen aus der HI-Virushülle. Mit neuen Ansätzen aus der Informatik und mit der Rechenleistung moderner Computer können sie auf der Suche nach den drei gewünschten Eigenschaften Millionen Möglichkeiten durchtesten, ohne aufwendige Versuche machen zu müssen – die aussichtsreichsten Kandidaten prüfen sie dann im Labor. „So beschleunigt sich der Forschungsprozess unheimlich“, sagt Tanja Weil. „Wir hoffen, dadurch sogar neuartige Sequenzen zu finden, die kein Vorbild in der Natur, aber spannende Eigenschaften haben.“

Auch mit Bernd Knöll steht schon das nächste Forschungsprojekt an. Denn nach den erfolgreichen Versuchen im peripheren Nervensystem wagen die Forscherinnen und Forscher jetzt den Sprung ins zentrale Nervensystem. Die Herausforderung, Nerven im Gehirn und in der Wirbelsäule zu heilen, ist deutlich größer, da sich hier Nerven normalerweise gar nicht regenerieren. Unfälle, bei denen der Nacken oder die Wirbelsäule schwer verletzt wird, führen so oft zur Querschnittslähmung. Gemeinsam wollen Bernd Knöll, Tanja Weil und Christopher Synatschke in den nächsten Jahren einen Weg finden, die Peptidgerüste so abzuwandeln, dass sie auch eine Heilung von Nervenschäden in den zentralen Schaltstellen unseres Körpers ermöglichen.

GLOSSAR

EXTRAZELLULÄRE MATRIX

heißt der aus Proteinen und Kohlehydraten bestehende Teil des Gewebes, in dem Zellen eingebettet sind. Nervenzellen benötigen die extrazelluläre Matrix, um wachsen zu können.

SELBSTASSEMBLIERENDE PEPTIDE (SAP)

sind kurze Aminosäureketten, die von selbst größere Strukturen wie etwa Fibrillen bilden.

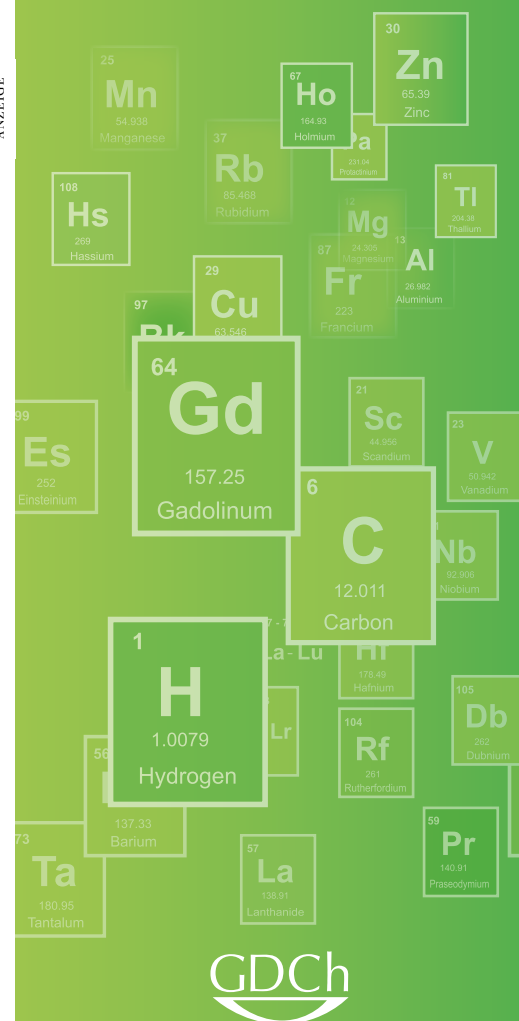
D A S
K A R R I E R E
P O R T A L

für Chemie und Life Sciences

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

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

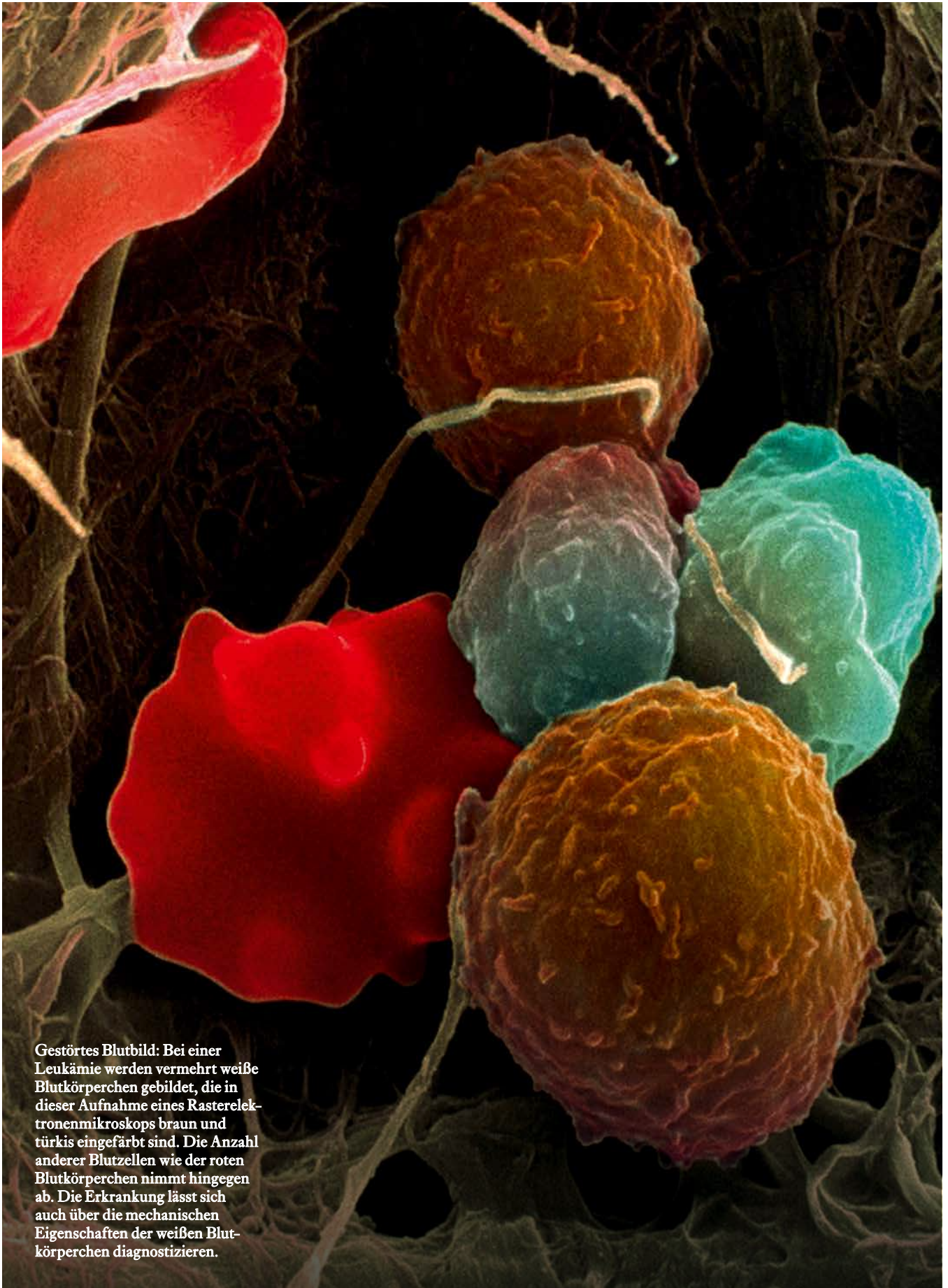
ANZEIGE



GDCh

GESELLSCHAFT DEUTSCHER CHEMIKER

www.gdch.de/karriere



Gestörtes Blutbild: Bei einer Leukämie werden vermehrt weiße Blutkörperchen gebildet, die in dieser Aufnahme eines Rasterelektronenmikroskops braun und türkis eingefärbt sind. Die Anzahl anderer Blutzellen wie der roten Blutkörperchen nimmt hingegen ab. Die Erkrankung lässt sich auch über die mechanischen Eigenschaften der weißen Blutkörperchen diagnostizieren.

ZELLEN UNTER DRUCK

TEXT: ROLAND WENGENMAYR

Wie leicht sich Zellen verformen, interessiert die Medizin bislang kaum – zu Unrecht, wie Jochen Guck, Direktor am Erlanger Max-Planck-Institut für die Physik des Lichts, und sein Team festgestellt haben. Denn über die mechanischen Eigenschaften von Zellen lassen sich etwa Krebserkrankungen, möglicherweise aber auch Entzündungen diagnostizieren. Derzeit erproben die Forschenden das Verfahren gemeinsam mit dem Universitätsklinikum Erlangen – und haben damit schon hilfreiche Erkenntnisse zu Covid-19 gewonnen.

Es könnte zu einer ganz neuen Form der Blutuntersuchung werden, was sich da auf dem Bildschirm abspielt. Durch eine trichterförmige Verengung strömen kleine, dunkle Schatten in einen schmalen Kanal. Darin beschleunigen sie, werden verformt und schließlich wieder hinausgespült. Es sind Blutzellen, und die Bilder hat eine Hochgeschwindigkeitskamera durch ein Mikroskop aufgenommen. „Der Kanal ist bloß 20 Mikrometer breit und hoch und 300 Mikrometer lang“, erklärt Martin Krämer – der Durchmesser entspricht also etwa dem eines feinen menschlichen Haars, und die Kanäle sind auf dem Laborchip, den der Biologe zeigt, nur durch feine Lichtreflexe zu erahnen.

Der Forscher hat in Hämatologie promoviert, er ist also Experte für Blut, und das Labor befindet sich am Max-Planck-Institut für die Physik des Lichts in Erlangen. Es ist ein ungewöhnlicher Ort für biologisch orientierte Forschung. Und das hat mit der Laufbahn von Jochen Guck zu tun, der die Grenze zwischen Fachdisziplinen überwunden hat und nicht zuletzt genau deshalb im Oktober 2018 als Direktor ans Institut kam. Guck ist Physiker und benutzt unter anderem Laserlicht als Werkzeug. Daher passt er eben doch ins Profil des Instituts, zumal sein Forschungsgebiet die Physik ist, insbesondere die Mechanik lebender Zellen. Genau darum geht es auch bei den Blutzellen. Guck hat als junger Forscher in Experimenten beobachtet, dass Krebszellen mechanisch weicher sind als ihre gesunden Gegenstücke. Wirkt eine Kraft auf sie ein, verformen sie sich stärker und verraten sich so in dem mikroskopischen Kanal. Zellen auf diese Weise abzutasten, könnte zu einem neuen Mittel medizinischer Diagnostik werden, etwa in der Krebstherapie und -vorsorge, aber auch bei der Suche nach Entzündungen. Der Blick auf die mechanischen Eigen-

schaften der Zellen dürfte darüber hinaus helfen, manche Krankheiten besser zu verstehen, ganz aktuell etwa Covid-19.

Jochen Gucks Team hat die Technik, die der Medizin eine neue Dimension erschließt, inzwischen so weit vorangetrieben, dass daraus mit der Firma Zellmechanik Dresden sogar ein preisgekröntes Start-up-Unternehmen entstanden ist. Eine erste Generation solcher Blutuntersuchungsgeräte hat es bereits auf den Markt gebracht. Dieser beschränkt sich allerdings noch ganz auf die Forschung und ist daher sehr klein, was sich nach Gucks Vision aber ändern soll. Und tatsächlich laufen einige der Geräte bereits in einem Labor der Kinderklinik am Universitätsklinikum Erlangen im Testbetrieb. Gucks Team arbeitet dort mit der Gruppe des Onkologen und Medizinprofessors Markus Metzler zusammen, um die Methode in der Diagnose von Leukämie, der häufigsten Krebserkrankung bei Kindern, zu erproben. Diese Kooperation ist auch ein Beispiel für die Forschung des Erlanger Zentrums für Physik und Medizin, in dem das Max-Planck-Institut für die Physik

73



des Lichts, die Universität Erlangen-Nürnberg und das Universitätsklinikum Erlangen zusammenarbeiten. 2024 wird Gucks Team als eine von fünf großen Arbeitsgruppen in das Gebäude des Zentrums ziehen, das gerade entsteht.

Dass er sich einmal biomedizinischen Themen widmen würde, hat Jochen Guck als junger Physiker nicht gedacht. „In der Schule habe ich Biologie abgewählt“, erzählt er schmunzelnd. Bio war für ihn zu unstrukturiert, zu viel Faktenwissen, das man auswendig lernen musste. Er fühlte sich zu Mathematik und Physik hingezogen. So wurde er Laserphysiker und gelangte auf Umwegen zu Josef Käs, der im texanischen Austin Zellen mithilfe von Laserstrahlen, sogenannten Lichtpinzetten, einfangen und auf ihre biomechanischen Eigenschaften untersuchen wollte.

Laserpinzette verformt Zellen

Bei Käs fand Guck zu dem wissenschaftlichen Thema, das ihn bis heute antreibt. „Für mich war damals die Lasertechnologie attraktiv“, erzählt er, „dass es dabei um Zellen ging, habe ich eher in Kauf genommen.“ Er nutzte die Chance, ein Labor nach seinen Vorstellungen einrichten zu können. Das hieß auch, dass es behindertengerecht gebaut sein musste, denn Guck sitzt im Rollstuhl. „Die optischen Tische mussten unterfahrbar sein“, betont er. Damals entdeckte er, dass Zellen auf Laserlicht ganz anders reagieren, als man das nach Experimenten mit ähnlich kleinen, aber harten Partikeln aus Glas oder Plastik erwarten konnte. Das Gerät, das Guck baute, bestand aus zwei gegenläufigen Laserstrahlen. Zwischen ihnen verlief ein Transportkanal für die Zellen. Geriet eine ins Lichtfeld, so wurde sie eingefangen. Doch anstatt von den gegeneinander gerichteten Laserstrahlen zusammengedrückt zu werden, passierte zu Gucks Überraschung das Gegenteil: Die Zellen

dehnten sich gegen den Druck des Laserlichts aus. Die optische Pinzette wurde unerwartet zu einem optischen Strecker. Guck konnte das Rätsel lösen. „Das war mein erstes wissenschaftliches Heureka-Erlebnis“, erzählt er. Damit war seine Faszination für Zellen geweckt. Schon damals gab es wissenschaftliche Hinweise darauf, dass das mechanische Verhalten von Zellen etwas über ihren inneren Zustand verraten könnte: Krebszellen erwiesen sich als weicher als ihre gesunden Pendanten. Dieses beobachtete Verhalten erforschte Guck von nun an systematisch und zeigte, dass es sich als Marker für Krebserkrankungen verwenden lässt.

Als er 2018 nach Erlangen kam, war Guck mit seiner Vision bereits so weit gekommen, um aus der biomechanischen Untersuchung von Zellen eine Routinediagnose zu entwickeln, die im Klinikalltag eingesetzt werden kann. Gucks größte Herausforderung: die Entwicklung eines Verfahrens, das viele Zellen in praxistauglicher Zeit zuverlässig untersucht. Selbst der von Guck in Austin entwickelte optische Strecker, damals die schnellste Methode, war mit einer Größenordnung von hundert Zellen pro Stunde viel zu langsam. Die Herausforderung bringt Martin Kräter auf den Punkt: „Wenn man sich Blut anschaut, dann kommt auf grob tausend rote Blutzellen eine weiße Blutzelle!“ Von diesen seltenen weißen Blutzellen muss die Diagnose aber ausreichend viele in vertretbarer Zeit erwischen, denn sie sind nicht nur bei Leukämie krankhaft verändert, sondern liefern auch entscheidende Informationen über den Zustand des Immunsystems und über mögliche Entzündungsherde.

Also musste ein wesentlich schnelleres Verfahren her. Guck kam mit seinem Team auf die Idee, „Mikrofluidik“ einzusetzen und Blutzellen im schnellen Durchfluss durch eine mikroskopisch kleine Verengung zu erfassen. Darauf basiert die von Kräter im Labor vorgeführte Methode. Eine Flüssigkeit mit Blutzellen durch einen winzigen Kanal strömen zu lassen, klingt einfach. Doch die diagnosti-

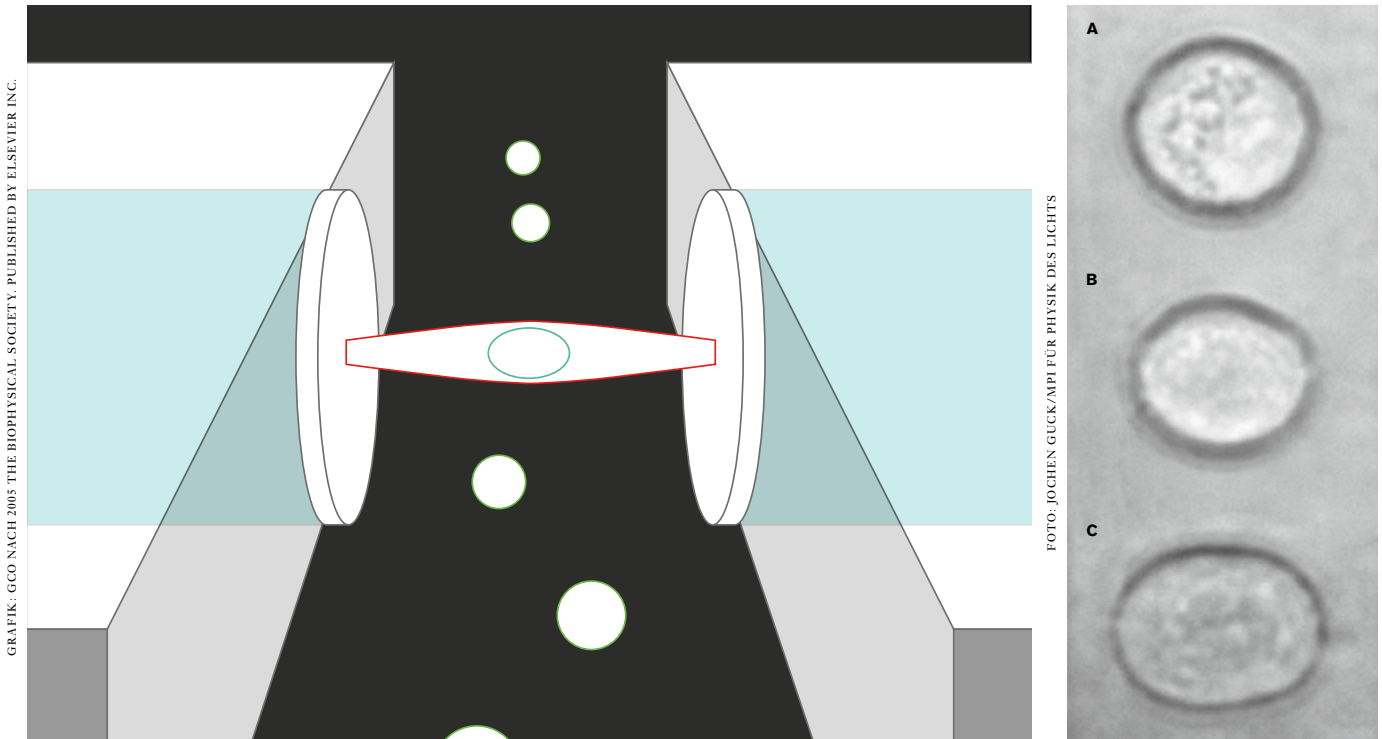
sche Anwendung steht und fällt damit, die Strömungsverhältnisse so präzise zu beherrschen, dass die Verformung gleichartiger Zellen unter exakt wiederholbaren Bedingungen vergleichbar wird. Das erforderte ein trickreiches Verfahren: Ein Hüllstrom umschließt den eigentlichen Strom der Lösung mit den Zellen, dann werden beide durch den Mikrotrichter in den Kanal gedrückt. Das verhindert, dass Zellen an der Kanalwand kleben bleiben. Zudem muss die Flüssigkeit im Kanal vollkommen wirbelfrei fließen. Eine solche laminare, also ruhige Strömung hat ein physikalisch präzise berechenbares Strömungsprofil. An der Wand ist die Fließgeschwindigkeit am geringsten, zur Mitte des Kanals hin steigt sie an. Dieses genau beschreibbare Strömungsprofil liefert den Schlüssel zur verlässlichen Analyse der Zellverformung. Im Kanal werden die Blutzellen entsprechend

AUF DEN PUNKT GEBRACHT

Krebszellen sind weicher als gesunde Zellen. Manche Krebserkrankungen lassen sich über die mechanischen Eigenschaften der Zellen sogar früher diagnostizieren als über biochemische Signale.

Ein Team des Max-Planck-Instituts für die Physik des Lichts testet die Verformbarkeitszytometrie derzeit mit der Uniklinik Erlangen vor allem in der Diagnose von Leukämie.

Die Forschenden untersuchen zudem, inwiefern die Methode bei der Erforschung von Entzündungen helfen kann. Sie haben etwa herausgefunden, dass sich rote Blutkörperchen von Covid-19-Patienten auch nach einer überstandenen Infektion schwerer verformen lassen als solche gesunder Menschen. Das könnte Symptome und Langzeitfolgen von Covid-19 erklären.



Optische Streckbank: Ein intensiver Laserstrahl kann Zellen wie eine Pinzette festhalten (links). Rechts: Gesunde Zellen (A) verformen sich dabei deutlich weniger als Tumorzellen (B). Metastasierende Zellen werden am stärksten in die Länge gezogen (C).

in ihrer Mitte nach vorn gepresst und an ihren Seitenrändern abgebremst, weshalb sie eine projektilartige Form annehmen.

Eine schnelle Kamera, synchronisiert mit einer hellen Leuchtdioden-Blitzlampe, kann so die Verformung von tausend Zellen pro Sekunde erfassen. „Das ist also 36 000-mal schneller als mit dem optischen Strecker“, bilanziert Guck: „Damit können wir jetzt so viele Zellen am Tag messen wie zuvor in rund hundert Jahren!“ Diese enorme Steigerung des Durchsatzes war der Durchbruch. Mit dieser Echtzeit-Verformbarkeitszytometrie wurde es realistisch, krankhafte Veränderungen in Zellen in der klinischen Anwendung zu ertasten.

„Der Begriff Zytometrie heißt nichts anderes als ‚Vermessen von Zellen‘“, erläutert Guck. Die Echtzeit allerdings bedeutet, dass Hunderttausende von Bildern, die in kurzer Zeit anfallen, ohne Verzögerung verarbeitet werden müssen. Diese enorme Datenmenge kann kein Mensch mehr analysieren.

Deshalb setzt das Team auf künstliche Intelligenz und maschinelles Lernen. Die heute etablierte Technik der künstlichen neuronalen Netze ist ideal dafür geeignet, Muster zu erkennen. Sie sortiert automatisch die durchlaufenden Zellen nach Formen, wie Krater am Bildschirm zeigt. Allerdings muss das System eine Zellform auch richtig interpretieren. Dazu muss das KI-System mit Blutproben möglichst vieler Patienten trainiert werden. Genau das passiert bei Markus Metzler im Labor der Erlanger Kinderklinik.

Biomechanik als Frühwarnsystem

Um den Nutzen der Diagnostik mit Tastsinn für die Onkologie zu erkennen, hilft ein Blick auf die Zelle und ihre Mechanik. Dass eine Zelle allein über ihre mechanischen Eigenschaften etwas über ihr Innenleben verrät, liegt am sogenannten Zellskelett, wobei Guck den Begriff unglücklich fin-

det. Zwar hat dieses Skelett auch eine stützende Funktion, so wie unsere Knochen. Wären wir aber eine Zelle, könnten wir unsere Gestalt wie bei Harry Potter wechseln, indem wir unser Skelett schnell mal umbauen. Genau das tut eine Zelle permanent, um auf ihre Umwelt oder Veränderungen in ihrem Inneren zu reagieren – oder sich zu teilen. Wie kann man sich also dieses Skelett vorstellen? „Am besten passt das Bild eines Gels“, sagt Guck. Stellt man sich nun eine Zelle anschaulich als eine Tube mit Feuchtigkeitscreme vor, dann würde diese allerdings nicht passiv im Badezimmer herumschrank herumstehen. Das Gel in ihr würde ein Eigenleben entwickeln, die Tube dauernd verformen und sogar im Schrank herumwandern lassen. Doch solch permanente Aktivität hat ihren Preis. „Zellen stecken daher einen erheblichen Teil ihrer Energie in ihr Zellskelett“, erklärt Guck, „bis zu 30 oder 40 Prozent!“

Für die Diagnostik ist nun entscheidend, dass etwa eine Krebszelle ihr Zellskelett bereits umbaut und weicher



wird, bevor sie sich über die im medizinischen Alltag anerkannten Merkmale verrät: Proteine auf ihrer Oberfläche, die sich mit farbstoffmarkierten Antikörpern identifizieren lassen. „Wir können also sozusagen blind messen“, erklärt Guck: „Wenn sich die Mechanik verändert, muss sich auch die Funktion der Zelle bereits geändert haben.“ Die Biomechanik könnte also zu einem Frühwarnsystem für bösartige Veränderungen der Zellen werden. Darüber hinaus liefert die Echtzeit-Verformbarkeitszytometrie sofort passende Bilder, ohne extra Schritte im Labor wie das Anfärben.

Die Frühwarnfunktion und der direkte Blick auf krankhafte Veränderungen sind Vorteile, die auch Markus Metzler von dem gemeinsamen For-

schungsprojekt überzeugt haben. „Wir passen ultragut zusammen“, schwärmt er und meint damit, dass sein Team die Forschung in der klinischen Praxis einbringt und Gucks Gruppe die innovative Technik aus der Grundlagenforschung beisteuert: „Wenn nicht wir die neue Technik voranbringen, wer dann?“ An der Erlanger Kinderklinik ist Metzler tagtäglich mit den Leiden und Ängsten seiner jungen Patienten mit Krebserkrankungen und deren Eltern konfrontiert, was ihn zusätzlich motiviert, die Entwicklung neuer Diagnosemethoden voranzutreiben. Deshalb leisten sich die Forschenden auch ein eigenes Labor mit direkter Anbindung an die Krankenversorgung. Dort machen sie die Routineuntersuchungen, welche in der Medizin etabliert sind. Parallel dazu laufen bereits Echt-

zeit-Verformbarkeitszytometer aus Gucks Gruppe mit. Mit den vielen Blutproben trainieren sie ihr KI-System so auf die Erkennung krankhaft veränderter Zellen.

Markus Metzler geht sogar davon aus, dass die Trainingsphase der KI mit Daten verschiedener Erkrankungen recht schnell ablaufen wird. Dabei hat der Mediziner nicht nur Krebszellen im Blick. „Bei bestimmten Formen von Entzündungen funktioniert das ganz gut“, sagt er und meint damit, dass die weißen Blutzellen auch als Boten für im Körper verborgene Entzündungen genutzt werden können. Das ist an sich altbewährt, zur normalen Blutuntersuchung gehört ja auch das Zählen der Leukozyten. Doch ihren biomechanischen Zustand abzutasten, kann zusätzliche Information

76

Automatische Analyse: Durch die Schläuche wird eine Flüssigkeit mit Zellen über einen Mikrofluidikchip geleitet, wobei eine Highspeedkamera an einem Lichtmikroskop die Zellen aufnimmt. Eine Software spürt dann kranke Zellen auf, die sich in der Strömung stärker verformen als gesunde.

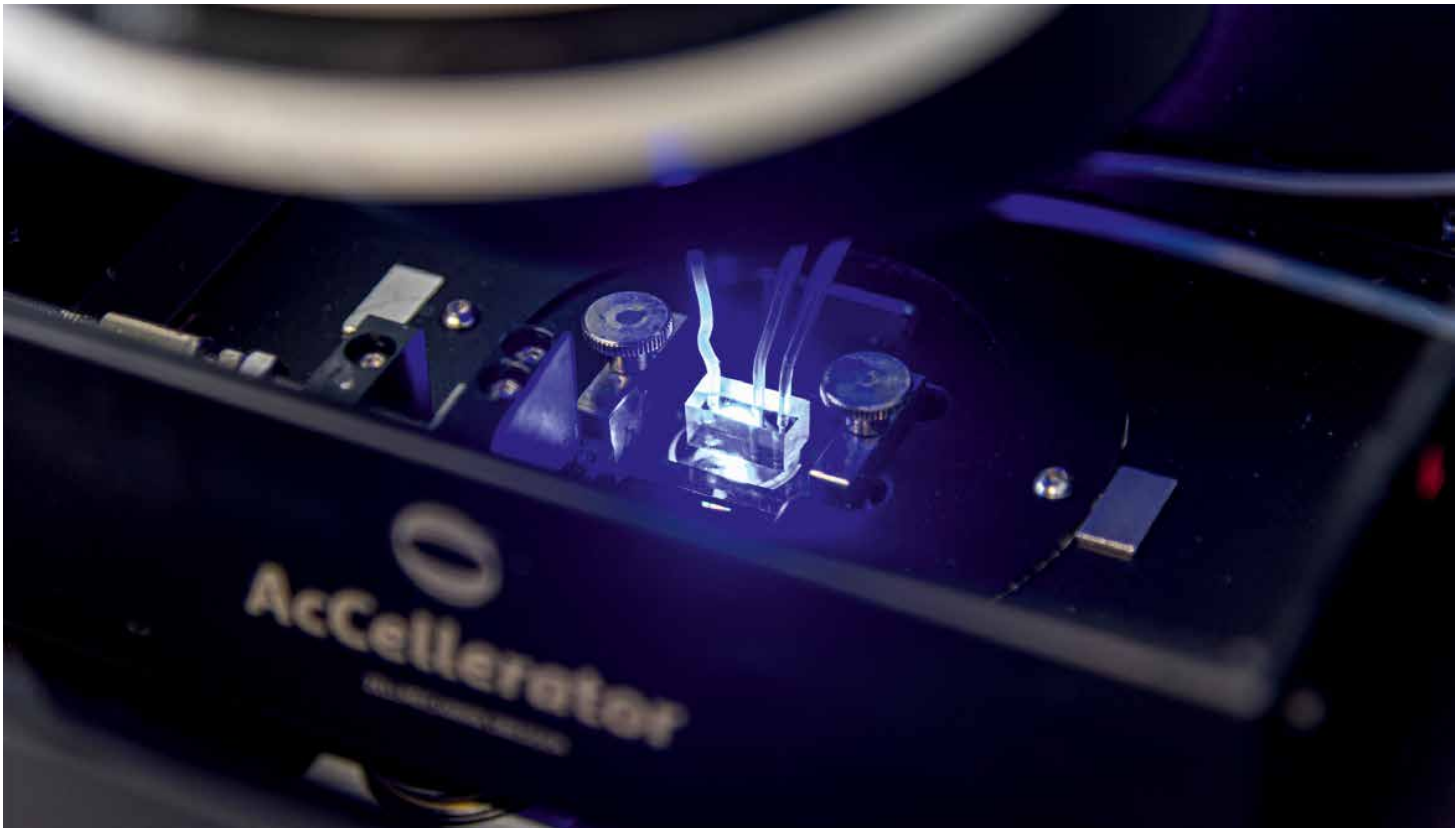
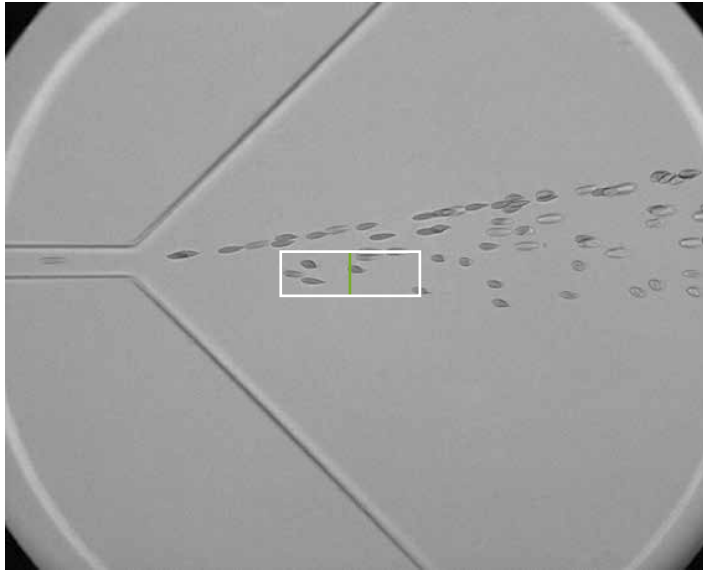


FOTO: MAX KRUSE/MPI FÜR PHYSIK DES LICHTS

Biomechanischer Schnelltest: Wie stark Zellen verzerrt werden, wenn sie durch einen feinen Kanal auf einem Chip fließen, verrät, ob sie gesund oder krank sind. In dem markierten Rechteck in der Bildmitte findet die eigentliche Messung statt, sobald der Ausschnitt über dem Kanal positioniert ist.



liefern. Wie sich die nutzen lässt, um Diagnostik und Therapie zu verbessern, ist eine Frage, die Jochen Gucks Team mit Partnern aus der medizinischen Forschung klären möchte.

Eine Erklärung für Covid-19-Schäden

„Die Methode erfasst eine Eigenschaft der Zellen, die bislang gar nicht abgefragt wurde“, betont Markus Metzler. Zur Veranschaulichung könne man sich das wie die Untersuchung eines Patienten mit Verdacht auf eine Blinddarmentzündung vorstellen. „Würden wir dabei nur den Bauchumfang messen und die Farbe der Haut anschauen, aber nicht auf den Bauch drücken“, sagt der Medizinprofessor, „dann würde uns in diesem Fall die entscheidende Information fehlen.“ Wenn der Patient andererseits lediglich einen Bluterguss auf dem Bauch hätte, würde der Augenschein schon zur korrekten Diagnose genügen. Genauso kann die Echtzeit-Verformbarkeitszytometrie bei manchen Erkrankungen nützlich sein, bei anderen dagegen genügen die etablierten Diagnosemethoden vollauf.

Als Mediziner hat Metzler aber auch den harten Klinikalltag im Auge. Er und der Chemiker Manfred Rauh, der Leiter des Labors in der Kinderklinik,

haben schon erlebt, wie vielversprechende medizinische Innovationen an der Praxis scheiterten. In einer Klinik muss es rasch und unkompliziert gehen: Blutprobe reinstellen, auf einen Knopf drücken, und dann muss das Gerät den Rest erledigen – diese Bedingung muss auch ein Echtzeit-Verformbarkeitszytometer erfüllen. Die nächste Generation des Geräts soll daher eine automatische Probenaufnahme, einen Autosampler, bekommen. Für deren Entwicklung hat Guck bereits eine Kooperation mit einem Team am Fraunhofer Institut für Prozessoptimierung und Automatisierung in Mannheim gestartet. Der Forscher strebt an, dass die Verformbarkeitszytometrie Teil der Standard-Blutuntersuchung in allen Labors wird. Sie könnte möglicherweise der Diagnose von Entzündungen dienen, vor allem aber der Früherkennung von Leukämie und anderer Krebserkrankungen wie zum Beispiel Lungenkrebs. Zudem könnte das Verfahren Teil der regelmäßigen Kontrolluntersuchungen während und nach einer Tumorthherapie werden. Metzler schätzt, dass die Medizin über solche Spezialanwendungen erst lernen muss, wo sich die biomechanische Diagnosemethode als Routineanwendung etablieren könnte.

Ganz aktuell hilft die Methode offenbar, manche Symptome und Langzeitfolgen einer Covid-19-Erkrankung zu

erklären. Denn bei der Untersuchung des Blutes von Covid-19-Patienten der Erlanger Intensivstation stellte sich im Vergleich zu gesunden Patienten unter anderem heraus, dass die roten Blutzellen weniger elastisch geworden waren. „Die Erythrozyten müssen sich aber verformen können, um durch die feinen Blutkapillaren zu passen“, erklärt Martin Kräter: „Sonst kommt es zur Verstopfung der kleinsten Blutgefäße, etwa in der Lunge, was ja auch eine der häufigsten Todesursachen bei Covid-19-Erkrankungen ist.“

Vor allem zeigte sich, dass derartige Veränderungen im Blut auch sechs Monate nach einer überstandenen Erkrankung noch zu beobachten sind. Das könnte physiologisch erklären, warum die scheinbar Genesenen oftmals noch über Atembeschwerden und eine geringere Leistungsfähigkeit klagen oder sogar neurologische Ausfälle haben. „Unter den untersuchten Patienten waren einige, die sich zum Beispiel schlechter konzentrieren können“, sagt Kräter. Hier könnten also die mechanischen Eigenschaften von Blutzellen erstmals Gesundheitsprobleme schlüssig erklären, deren Ursachen bislang fraglich waren. „Unsere Vorveröffentlichung der Resultate schlägt gerade ziemlich Wellen“, berichtet Guck. Das Beispiel verdeutlicht, wie hilfreich es sein kann, die Biomechanik in der medizinischen Forschung und Diagnostik zu berücksichtigen. Und Jochen Guck ist überzeugt, dass das auch bei weiteren Erkrankungen der Fall ist.

77

GLOSSAR

VERFORMBARKEITSZYTOMETRIE

Ein Verfahren, bei dem man die mechanischen Eigenschaften von Zellen untersucht, um die Diagnose und das Verständnis verschiedener Krankheiten zu verbessern.



Augen fürs All: Die beiden Magic-Teleskope auf dem Roque de los Muchachos registrieren Teilchenschauer in der Erdatmosphäre und beobachten damit indirekt Gammastrahlung aus den Tiefen des Universums.

78 Max-Planck-Forschende kooperieren mit Partnern in mehr als 120 Ländern. Hier schreiben sie über ihre persönlichen Erfahrungen und Eindrücke. Lea Heckmann vom Max-Planck-Institut für Physik arbeitet für zwei Monate an den Magic-Teleskopen auf der Kanarischen Insel La Palma. Sie berichtet von unvergesslichen Sonnenuntergängen und erklärt, was La Palma mit Irland gemeinsam hat.

Willkommen in der Stadt der Teleskope! Das ging mir durch den Kopf, als ich auf dem Roque de los Muchachos die vielen Observatorien erblickte: Hier oben, auf mehr als 2200 Höhenmetern, werde ich für die nächsten acht Wochen an den beiden Magic-Teleskopen arbeiten. Magic ist ein Akronym und steht für „Major Atmospheric Gamma Imaging Cherenkov“. Wie man an dem komplizierten Namen sieht, handelt es sich dabei um

keine gewöhnlichen optischen Instrumente, sondern um sogenannte Cherenkov-Teleskope.

Denn Magic detektiert Cherenkov-Licht – eine Art blaue Blitze, die in milliardstel Sekunden entstehen, wenn hochenergetische Gammastrahlen mit der Erdatmosphäre wechselwirken. Dank zweier Spiegel mit jeweils 17 Meter Durchmesser können die beiden Teleskope dieses Licht sammeln und mit Kameras aufzeichnen. Aus den Daten lassen sich Rückschlüsse auf die eintreffenden Gammastrahlen ziehen.

In meiner Forschung interessiere ich mich für sogenannte Blazare. Darunter versteht man aktive Galaxien mit einem supermassiven schwarzen Loch im Zentrum, welches die umgebende Materie verschluckt. Blazare zählen zu den energiereichsten Objekten im Universum, denn beim „Fressen“ entweichen Teilchen und werden in einem Jet in Richtung Erde auf extrem hohe Energien beschleunigt – was zur Emission von Gammastrahlung führt. Im Endeffekt könnte man Blazare mit einem Teilchen-

beschleuniger wie dem Cern in Genf vergleichen, nur mit unvorstellbar größeren Dimensionen und Energien.

Konkret beobachte ich jene zwei Blazare, die der Erde am nächsten sind – wobei Nähe in den Weiten des Weltalls natürlich ein sehr dehnbarer Begriff ist. Tatsächlich ging die von den Blazaren abgegebene Strahlung, die wir mit unseren Teleskopen heute auffangen, auf die Reise, während sich auf der Erde das erste komplexere Leben im Wasser bildete – vor einigen Hundert Millionen Jahren also!

Da wir den Nachthimmel untersuchen, beginnt die Arbeit meistens am späten Nachmittag und endet, je nach Schicht, in den frühen Morgenstunden. Zunächst müssen wir die Elektronik einstellen, die Teleskope kalibrieren und alles für die Messung vorbereiten. Nach Sonnenuntergang beginnen dann die Beobachtungen, das heißt, man sitzt im Kontrollraum, das heißt, man sitzt im Kontrollraum, prüft auf mehreren Bildschirmen, ob alle Systeme korrekt arbeiten, und richtet das Teleskop auf verschiedene Leuchtquellen.

LA PALMA

Das klingt vielleicht etwas monoton, in der Realität kommt aber kaum Langlei- weile auf, da man permanent damit beschäftigt ist, auftretende Probleme zu beseitigen. Das Spannendste passiert dennoch am Anfang und am Ende einer Schicht, während man rausgeht und die Teleskope entweder befestigt oder entsperrt, sodass sich die 60-Tonnen-Kolosse bewegen lassen. Innerhalb einer Minute können sie einmal vollständig um ihre Achse rotieren – ein äußerst beeindruckender Anblick.

Insgesamt sind an Magic mehr als 20 Institute beteiligt und durchschnittlich etwa fünf Personen zeitgleich vor Ort. Gesellschaft leisten mir momentan Forschende aus Spanien, Italien, Japan und den USA. Man könnte das Ganze also auch als eine Art Sozial- experiment verstehen: Was passiert, wenn man fünf Physikerinnen und Physiker auf einen Berg sperrt? Obwohl: Eingesperrt sind wir natürlich nicht! Man hat immer drei Tage Dienst und dann einen Tag frei. Die Freizeit nutze ich oft, um runter in die Stadt zu fahren, am Strand zu entspannen oder die Insel zu erkunden.

Denn obwohl La Palma mit rund 700 Quadratkilometern nicht einmal die doppelte Fläche meiner Studienstadt Wien aufweist, ist die geografische Vielfalt faszinierend. Wie alle Kanari- schen Inseln ist La Palma vulkani- schen Ursprungs, was man an dem schwarz gefärbten Sandstrand, am dunklen Vulkangestein und an der mit Kratern übersäten Landschaft im Süden deutlich erkennt. Der Norden dagegen besticht mit dichtem Dschungel, abgelegenen Dörfern und steil abfallenden Felsklippen, die mich an Irland erinnern.

Unvergesslich sind die Sonnenunter- gänge über den Wolken, die ich hier fast täglich genießen kann. Die schönsten Momente erlebe ich aber definitiv in der Nacht, wenn ich aus dem Kontrollraum an die frische Luft trete und zum Himmel aufschau. Ich sehe die Sterne, lasse die Gedanken schweifen und werde mir immer wieder von Neuem bewusst, wie klein wir hier auf der Erde sind. Und nicht zuletzt deshalb finde ich den Namen Magic für die Teleskope so passend. Oder möchte jemand ernsthaft die Magic des Weltalls bestreiten?



FOTO: PRIVAT

Lea Heckmann

27, studierte Technische Physik an der TU Wien und am KTH Royal Institute of Technology in Stockholm. Seit Januar 2019 promoviert sie in Astroteilchenphysik am Max-Planck-Institut für Physik in München. In ihrer Forschung interessiert sich die Wissenschaftlerin für Blazare – aktive Galaxien, in deren Zentren ein super- massives schwarzes Loch lauert und die zu den energie- reichsten kosmischen Objekten zählen. Zudem fungiert Lea Heckmann seit Anfang 2021 als Sprecherin des Max Planck Phdnet.

ALTLASTEN AUS DEM PARADIES

In der Steinzeit war die Welt noch in Ordnung: Bei den frühen Jägern und Sammlerinnen wurden zwischenmenschliche Beziehungen, Kooperation und Teilen großgeschrieben. Frauen und Männer lebten solidarisch und gleichberechtigt zusammen. Wie aber kommt es, dass Frauen heute für ihre Rechte kämpfen müssen? Wann ist die Ungleichheit zwischen den Geschlechtern entstanden und warum? Eine Antwort liefert die Bibel: Weil Eva auf die Schlange hörte und nicht auf Gott, hat sie zu verantworten, dass sich ihre Nachfahren den Männern unterordnen müssen. Der Evolutionsbiologe Carel van Schaik und der Historiker Kai Michel geben sich damit nicht zufrieden. Stattdessen gehen sie auf Spurensuche und durchforsten nicht nur die Heilige Schrift, sondern gleich zwei Millionen Jahre Menschheitsgeschichte. Auch bei unserer Primaten-Verwandtschaft schauen sie sich um. Überzeugend arbeiten die beiden Autoren heraus, welche Entwicklungen das Verhältnis zwischen den Geschlechtern immer mehr in Schiefelage brachten, angefangen mit der Sesshaftwerdung und der Erfindung des Ackerbaus. Auf circa 700 Seiten liefern van Schaik und Michel nicht nur überraschende Einsichten und



Carel van Schaik & Kai Michel

DIE WAHRHEIT ÜBER EVA

DIE ERFINDUNG DER UNGLEICHHEIT
VON FRAUEN UND MÄNNERN

Denkanstöße, sondern auch ein leidenschaftliches Plädoyer für Gendergerechtigkeit. Vor allem die gelungene Zusammenschau von Evolutionsbiologie und Kulturgeschichte macht das Buch unbedingt lesenswert. *Elke Maier*

Carel van Schaik, Kai Michel
Die Wahrheit über Eva
704 Seiten, Rowohlt Verlag
26,00 Euro

EIN FANTASTISCHER BEGLEITER

Wer Hunde liebt, weiß es längst: Ein Leben ohne Hund ist möglich, aber sinnlos. Corona-bedingte Beschränkungen mit ubiquitärem Homeoffice führen nun zu einem Ansturm bei Züchtern und Tierheimen. Gerade zur rechten Zeit erscheint die zweite Auflage des Buchs *Was Hunde wissen* der Kognitionsforscherin Juliane Bräuer vom Max-Planck-Institut für Menschheitsgeschichte und ihrer Fachkollegin Juliane Kaminski von der University of Portsmouth. Vornweg: Wer eine Anleitung für „Sitz“, „Platz“, „Bleib“ oder Leinenführigkeit sucht, wird enttäuscht! Wer aber den Sozialpartner Hund verstehen will, wird reichlich fündig.

Warum suchen Hunde unsere Nähe? Wie sehen sie uns? Warum kann der Border Collie Rico 200 Spielzeuge namentlich unterscheiden, versteht aber nicht, wenn ein Tierarzttermin vereinbart wird? Oder warum wundert sich mein Hund nicht, wenn er in einer Etage in den Fahrstuhl ein- und woanders aussteigt? Die Autorinnen vermitteln zu Fragen wie diesen den neuesten Stand der Forschung. Die wissenschaftlichen Tests lassen sich sogar zu Hause nachstellen. Dabei helfen nicht nur detaillierte Erläuterungen, sondern auch eingängige Zeichnungen der Versuche, die dem Hund spielerisch Freude machen. Ganz nebenbei

werden dabei die Bindung zwischen Mensch und Hund gefestigt und das gegenseitige Verstehen gefördert. Für alle, die ihren Hund weder vermenschlichen noch zähmen, sondern einfach ihrem fantastischen Begleiter gerecht werden wollen, ist dieses Buch ein Muss.

Sabine E. Zimmermann

Juliane Bräuer, Juliane Kaminski
Was Hunde wissen
187 Seiten, Springer Verlag
14,99 Euro



RÜCKKEHR DER SEUCHEN

Mitte des 20. Jahrhunderts schien der Kampf gegen Bakterien und Viren entschieden: Dank hoher Hygienestandards sowie Impfungen und Antibiotika ließen sich die meisten Infektionskrankheiten verhindern oder behandeln. In immer kürzeren Abständen auftauchende neue Erreger haben uns jedoch eines Besseren belehrt. Bereits 2008 hat Stefan Kaufmann, mittlerweile emeritierter Direktor am Max-Planck-Institut für Infektionsbiologie, in seinem Buch

Wächst die Seuchengefahr? vor neuen Erregern gewarnt. Der Wissenschaftler, der sein Berufsleben vor allem der Erforschung der Tuberkulose gewidmet hat, beschreibt im nun erschienenen Heft der Hessischen Landeszentrale für politische Bildung kurz und prägnant, wie Immunität gegen Krankheitserreger ent-

steht, wie Antibiotika und Medikamente wirken und welche Arten von Impfstoffen es gibt. Die Menschheit steht seiner Meinung nach vor zwei besonders dringlichen Herausforderungen: erstens natürlich der Bewältigung der Corona-Pandemie. Im Kapitel über die Sars-CoV-2-Pandemie rekapituliert Kaufmann, wie sich das Virus über die Welt verbreitete, und stellt die verschiedenen Nachweismethoden und Impfstofftypen vor. Das Heft gibt dabei den Wissensstand von Ende 2020 wieder und ist deshalb in manchen Punkten bereits wieder überholt. Eine weitere Bedrohung globalen Ausmaßes ist für Kaufmann die Zunahme resistenter Bakterien und Viren. Auf deren Konto könnten im Jahr 2050 jährlich zehn Millionen Todesfälle gehen.

Harald Rösch



Stefan H. E. Kaufmann
COVID-19 und die Bedrohungen
durch Pandemien
84 Seiten
Schriftenreihe Nachhaltigkeit
Heft 8, Hessische Landeszentrale
für politische Bildung, 2020
Kostenfrei

NEU ERSCHIENEN

BLÄTTER ZWISCHEN BLÄTTERN

Für alle, die die Natur lieben, ist das Buch eine Fundgrube. Es nimmt mit auf abenteuerliche Expeditionen von Gelehrten und zu deren Pflanzensuche. Dabei legt Marc Jeanson kein stringentes Sachbuch vor, sondern ein unterhaltsames Feuilleton. Der Autor, der im Pariser Jardin des Plantes das weltgrößte Herbarium leitet, beleuchtet die Lebenswege bekannter Wissenschaftler wie Carl von Linné und Jean-Baptiste de Lamarck und macht mit weniger bekannten Persönlichkeiten vertraut. Da die Botanik als Unterdisziplin der Medizin lange Zeit Männern vorbehalten war, wurde die Forschung von Frauen kaum berücksichtigt, ebenso das Wissen der indigenen Bevölkerung, das viele Expeditionen erst zum Erfolg führte. Jeanson beschreibt diese Exkursionen so spannend wie die Ausflüge ins Pariser Herbarium mit den Aufbewahrungsorten seltener



Pflanzen. Die Hüter der Funde sind Koryphäen, die ihr Wissen gerne teilen und in dem „Biotop“ skurrile Eigenschaften entwickeln. Herbarien gelten als aus der Zeit gefallen. Dass dies dennoch kein verstaubtes Buch geworden ist, sondern eine lebendige Lektüre, ist auch ein Verdienst von Arte-Autorin Charlotte Fauve und der Übersetzerin Elsbeth Ranke. Nach der Lektüre versteht man die Liebe der Botanikerinnen und Botaniker zu ihrem Metier, nimmt die schwindende Artenvielfalt deutlicher wahr und verspürt Lust, das Herbarium in Paris zu besuchen.
Barbara Abrell

Charlotte Fauve, Marc Jeanson
Das Gedächtnis der Welt
224 Seiten, Aufbau-Verlag
22 Euro



FÜNF FRAGEN

ZUM PATENTSCHUTZ FÜR IMPFSTOFFE

AN RETO HILTY

Professor Hilty, Impfstoff gegen Covid-19 ist weltweit rar. Indien und Südafrika kämpfen daher bei der Welthandelsorganisation für eine Lockerung des Patentschutzes, mehr als 100 Länder unterstützen dies. Was würde passieren, wenn der Antrag durchkommt?

82

RETO HILTY Dann könnte jeder Mitgliedsstaat selbst über das Aussetzen des Patentschutzes entscheiden, wobei primär jene davon Gebrauch machen dürften, die sich die Impfstoffe gegenwärtig nicht leisten können. Das Problem ist, dass ein Aussetzen des Patentschutzes im eigenen Land nichts bringt, wenn dort kein Unternehmen technisch in der Lage ist, solche Impfstoffe herzustellen.

Welche Patente sind betroffen?

Ironischerweise nicht nur Patente, die sich direkt auf die Covid-19-Impfstoffe beziehen. Gerade die modernen Impfstoffe auf mRNA-Basis beruhen auf Technologien, die ihrerseits durch bereits erteilte oder noch zu erteilende Grundlagenpatente geschützt sind. Diese Technologien haben noch andere vielversprechende Anwendungsbereiche, namentlich in der Krebstherapie. Wollte man den Patentschutz für die Impfstoffe aussetzen, müsste dies auch für derartige Grundlagenpatente der Fall sein. Dass man damit die Anreize für die Pharmaindustrie erhöhen würde, weiterhin in solche Zukunftstechnologien zu investieren, ist kaum anzunehmen. Wer hier am Patentschutz rüttelt, spielt also mit dem Feuer.

Was wäre aus Ihrer Sicht die bessere Lösung?

Wenn die beteiligten Akteure miteinander kooperieren und sich die notwendigen Lizenzen auf vertraglicher Basis erteilen, ist dies im Grunde effizienter. Inzwischen sind ja einige Auftragsproduktionen auf dieser Basis bekannt geworden. Natürlich glänzt diese Branche vielfach nicht durch Transparenz. Aber ich würde nicht von vornherein unterstellen, dass sich die Impfstoffentwickler weigern, Lizenzen zu erteilen. Nur: So viele geeignete Hersteller gibt es noch gar nicht. Anschaulich sind die Kooperationen von Biontech/Pfizer mit Novartis oder Sanofi – immerhin Weltkonzerne. Sie gehören zu den wenigen, die überhaupt in der Lage sind, Impfdosen auch nur abzufüllen. Übrigens würde es ohne Patente kaum zu derartigen Kooperationen kommen. Denn hier sind Patente gerade die Voraussetzung für Zusammenarbeit. Sie schaffen Rechtsicherheit dafür, dass die eigene Technologie den vertraglichen Vorgaben entsprechend genutzt wird.

Für Millionen Menschen im globalen Süden bleibt die Impfung trotzdem zu teuer.

Das Gefälle zwischen privilegierten und unterprivilegierten Ländern ist in der Tat besorgniserregend. Wer die Probleme auf das Patentrecht reduziert und die Verantwortung der Pharmaindustrie in die Schuhe schiebt, macht es sich allerdings zu einfach. Marktmechanismen allein vermögen solche

Probleme nicht zu lösen. Die reichen Staaten haben ja nicht ohne Grund für die Entwicklung der Impfstoffe substanzielle Mittel beigesteuert. Das ist großartig. Aber wenn davon nicht nur die eigene Bevölkerung profitieren soll, werden unweigerlich weitere Kosten anfallen, um auch wirtschaftlich schwache Staaten zu versorgen. Die EU kann da hoffentlich bald viel Gutes tun. Wenn sie alle Impfdosen erhält und auch abnimmt, die sie bestellt hat, verfügt sie über weit mehr, als sie selbst benötigt.

Wäre am Ende nicht wieder die Pharmaindustrie der Profiteur?

Gewiss soll sich niemand an der Pandemie eine goldene Nase verdienen. Aber die staatlichen Gelder müssen ja nicht bedingungslos ausgegeben werden. Insoweit herrscht allerdings auch bei den öffentlichen Geldgebern wenig Transparenz. Die Tatsache, dass in den USA inzwischen bereits ein etwa dreimal so großer Anteil der Bevölkerung geimpft ist wie in der EU, spricht jedenfalls dafür, dass die US-Regierung schon bei der Mittelvergabe weitsichtiger verhandelt hat als andere.

Interview: Michaela Hutterer

Prof. Dr. Dr. h. c. Reto M. Hilty
ist Direktor am Max-Planck-Institut
für Innovation und Wettbewerb.

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

Niederlande

- Nimwegen

Italien

- Rom
- Florenz

USA

- Jupiter, Florida

Brasilien

- Manaus

Luxemburg

- Luxemburg



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

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

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

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

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

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

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

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

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

MaxPlanckForschung berichtet über aktuelle Forschungsarbeiten an den Max-Planck-Instituten und richtet sich an ein breites wissenschaftsinteressiertes Publikum. Die Redaktion bemüht sich, auch komplexe wissenschaftliche Inhalte möglichst allgemeinverständlich aufzubereiten. Das Heft erscheint in deutscher und englischer Sprache (MaxPlanckResearch) jeweils mit vier Ausgaben pro Jahr. Die Auflage dieser Ausgabe beträgt 82 000 Exemplare (MaxPlanckResearch: 10 000 Exemplare). Der Bezug ist kostenlos. Ein Nachdruck der Texte ist nur mit Genehmigung der Redaktion gestattet; Bildrechte können nach Rücksprache erteilt werden. Die in MaxPlanckForschung vertretenen Auffassungen und Meinungen können nicht als offizielle Stellungnahme der Max-Planck-Gesellschaft und ihrer Organe interpretiert werden.

Die Max-Planck-Gesellschaft zur Förderung der Wissenschaften e.V. unterhält 86 Institute und Forschungseinrichtungen, in denen rund 23 900 Personen forschen und arbeiten, davon etwa 6900 Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler. Der Jahresetat 2020 umfasste insgesamt 1,92 Milliarden Euro. Die Max-Planck-Institute betreiben Grundlagenforschung in den Natur-, Lebens- und Geisteswissenschaften. Die Max-Planck-Gesellschaft ist eine gemeinnützige Organisation des privaten Rechts in der Form eines eingetragenen Vereins. Ihr zentrales Entscheidungsgremium ist der Senat, in dem Politik, Wissenschaft und sachverständige Öffentlichkeit vertreten sind.

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



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

MAX PLANCK
GESELLSCHAFT

