

Max Planck FORSCHUNG



Das Wissenschaftsmagazin der Max-Planck-Gesellschaft 3.2018



Digitale Gesellschaft

POLITIKWISSENSCHAFT

Afrikas Demokratien
im Niedergang

ASTRONOMIE


Sonderlinge im
Sonnensystem

BIOMEDIZIN

Ein Quäntchen
Gehirn

LERNPSYCHOLOGIE

Die Wege kindlicher
Wissbegier



Dr. Svenja Möllgaard,
Lab Managerin,
Beiersdorf

Jessica Schäfer,
Lab Managerin,
Beiersdorf

„academics vereint das Beste, was Wissenschaft
und Wirtschaft bieten: Jobs für alle, die für
die Forschung brennen und Lust haben, an der
Entwicklung neuer Produkte mitzuwirken.“

academics – wo sich Wissenschaft und Wirtschaft treffen!

Der führende Stellenmarkt und Karrierebegleiter aus der ZEIT-Verlagsgruppe bietet für alle, die Lust auf Wissenschaft und forschungsnahe Aufgaben haben, die größte Auswahl individuell passender Stellenangebote an Hochschulen, Forschungseinrichtungen und in Unternehmen. Ergänzend dazu: Beiträge zu Themen wie berufliche Weiterentwicklung, Bewerbung und Gehalt.

Jetzt registrieren und vom kostenfreien Job- und Beratungsangebot profitieren:
www.academics.de




Weltraumspaziergang für die Forschung

Rund 16-mal am Tag umkreist die *International Space Station (ISS)* in ungefähr 400 Kilometer Höhe die Erde; für eine Umrundung benötigt sie gut 90 Minuten. Die etwa fußballfeldgroße, seit November 2000 dauerhaft bewohnte Raumstation wird stetig um- und ausgebaut – auch im Dienste der Wissenschaft. In einem fast achtstündigen Außenbordeinsatz haben die beiden russischen Kosmonauten Sergei Prokopjew und Oleg Artemjew am 15. August 2018 die Antenne des Icarus-Systems an der Außenseite der *ISS* montiert. Damit sind nun alle Icarus-Komponenten an Bord komplett, und die mehrmonatige Testphase kann beginnen.

Icarus (International Cooperation for Animal Research Using Space) – ein Gemeinschaftsprojekt des Max-Planck-Instituts für Ornithologie, der russischen Raumfahrtbehörde Roskosmos und der Raumfahrtagentur im Deutschen Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR) – soll ein neues und besseres Verständnis von Tierwanderungen weltweit ermöglichen. Selbst kleine Tiere wie Singvögel können mit den Icarus-Sendern ausgestattet werden, ohne dass sich ihr Verhalten dadurch ändert. Obwohl sie nicht einmal fünf Gramm wiegen, erfassen die sogenannten Tags nicht nur den Aufenthaltsort des Tieres, sondern sammeln auch Daten zu Beschleunigung, Umgebungstemperatur und Ausrichtung zum Erdmagnetfeld. Nähert sich die *ISS*, senden die Tags die aufgezeichneten Daten zur Raumstation. Dabei kann die Antenne im Weltall viele Hunderte Tiere, also auch ganze Schwärme, gleichzeitig erfassen.

Ziel ist es, mehr über das Leben der Tiere auf der Erde herauszufinden: unter welchen Bedingungen sie leben und auf welchen Routen sie wandern. Denn auch mehr als hundert Jahre nach dem Beginn der wissenschaftlichen Beringung von Vögeln ist darüber im Detail noch immer erstaunlich wenig bekannt. Die Erkenntnisse dienen nicht bloß der Verhaltensforschung und dem Artenschutz, sondern auch der Erforschung der Ausbreitungswege von Infektionskrankheiten, dem Verständnis der Auswirkungen von ökologischen Veränderungen wie dem Klimawandel und letztendlich vielleicht sogar der Vorhersage von Naturkatastrophen.

 <https://youtu.be/4g12a3cmXNs>



Inhalt



20 DIGITALE GESELLSCHAFT

20 Frühwarnsystem für Falschmeldungen

Fake News in sozialen Medien effizienter und treffgenauer bekämpfen – diesem Ziel möchten Wissenschaftler am Max-Planck-Institut für Softwaresysteme in Kaiserslautern näher kommen. Dafür kombinieren sie Verfahren der künstlichen Intelligenz mit der Auswertung von Signalen, in denen sich menschliches Urteil widerspiegelt.

26 Foto ohne Gesicht

Wo Informationen über uns oder gar Fotos mit unserem Konterfei auftauchen, das haben wir kaum noch im Griff. Doch in Zukunft könnte sich wenigstens verhindern lassen, dass wir als Unbeteiligte auf Fotos in anderer Leute Facebook-Auftritt erscheinen. Die Technik dafür haben Forscher am Max-Planck-Institut für Softwaresysteme in Saarbrücken entwickelt.

32 Regeln für Roboter

Künstliche Intelligenz rückt immer näher, auch buchstäblich: Pflege-roboter könnten demnächst bei uns zu Hause einziehen. Wie sie sich dabei verhalten sollen, ist noch nicht verhandelt. Am Max-Planck-Institut für Innovation und Wettbewerb in München beschäftigt Forscher die Frage, wie man mit rechtlichen Mitteln sicherstellen kann, dass künstliche Intelligenz sich an menschliche Werte hält.

ZUM TITEL Die Digitalisierung unserer Gesellschaft schreitet immer schneller voran – und erfordert ganz neue Sicherheitsstrategien: Wie etwa lassen sich Fake News in sozialen Medien effektiv bekämpfen? Wie sicherstellen, dass mit künstlicher Intelligenz ausgestattete Pflegeroboter im Sinne des Erfinders handeln? Und was ist mit Fotos von uns, die etwa auf Facebook erscheinen? Max-Planck-Forscher suchen dafür nach Lösungen.

12

Keine Demokratie: Die meisten Staaten in Afrika werden von Diktatoren regiert.

PERSPEKTIVEN

- 06 Hoher Besuch in Vancouver und Ottawa
- 06 Fields-Medaille für Peter Scholze
- 07 „Unser Grenzwert ist inakzeptabel hoch“
- 08 Pionierleistungen in der Paläogenetik geehrt
- 08 Auf Zeitreise in Dahlem
- 09 Auszeichnung für tierfreundliches Verfahren
- 10 Der Max-Planck-Tag
- 11 Die Köpfe der ersten Dioscuri-Zentren
- 11 Ins Netz gegangen

ZUR SACHE

- 12 **Afrikas Demokratien im Niedergang**
Afrika ist ein Kontinent der Diktatoren. Wahlen werden manipuliert, die Opposition unterdrückt. Europa und die USA schauen dabei viel zu oft weg, kritisiert unsere Autorin.

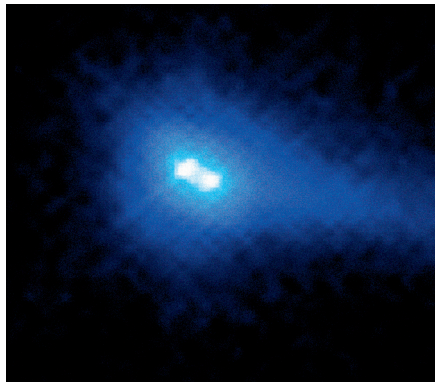
FOKUS

- 20 Frühwarnsystem für Falschmeldungen
- 26 Foto ohne Gesicht
- 32 Regeln für Roboter



TECHMAX

Massemonster im All – wie Forscher das schwarze Loch in der Galaxis durchleuchten



48 Keine Kategorie: Manche Himmelskörper passen nicht in ein klassisches Schema.



54 Kein Körper: Organähnliche Strukturen lassen sich auch im Labor züchten.



70 Kein Lehrbuch: Forscher untersuchen, wie Kinder aktiv und selbstständig lernen.

SPEKTRUM

- 40** Geburt eines Planeten
- 40** Neutrino aus einer fernen Galaxie
- 41** Charakter im Blick
- 41** Selbstheilende Samenkapseln
- 41** Eizelle sucht Spermium
- 42** Fettgewebe macht Stress
- 42** Frühe Zahnmedizin für Pferde
- 43** Marionettenspiel mit der Mimik
- 43** Elektronen auf der Plasmawelle
- 44** Im Schwerfeld des schwarzen Lochs
- 44** Impfstoffe ohne Ei
- 45** Papageien denken ökonomisch
- 45** Unsere weitverzweigten afrikanischen Wurzeln
- 46** Rendezvous in der Steinzeit
- 46** Kunst zwischen Konkurrenz und Kooperation

PYHSIK & ASTRONOMIE

- 48** **Sonderlinge im Sonnensystem**
Kleinkörper auf Umlaufbahnen um die Sonne gelten traditionell entweder als Kometen oder als Asteroiden. Manch kosmisches Kleinzeug passt jedoch in keine dieser Kategorien – und zwingt Astronomen zum Umdenken.

BIOLOGIE & MEDIZIN

- 54** **Ein Quäntchen Gehirn**
Aus hochspezialisierten Zellen des menschlichen Körpers können Wissenschaftler wieder teilungsfähige Generalisten machen. Damit lassen sich im Labor organähnliche Strukturen wie Gehirnoide züchten; an denen man Krankheiten, etwa Parkinson, erforschen kann.

UMWELT & KLIMA

- 62** **Ein Riecher für Gefühle**
Zur Person: Jonathan Williams

KULTUR & GESELLSCHAFT

- 70** **Die Wege kindlicher Wissbegier**
Um sich Wissen anzueignen, gilt aktives und selbstständiges Lernen als besonders effizient. Forscher entwickeln ausgeklügelte Tests, mit denen sie den Lernstrategien von Kindern auf die Spur kommen wollen.

RUBRIKEN

- 03** **Orte der Forschung**
- 18** **Post aus – Nijmegen, Niederlande**
Zwischen Promotion und Baby
- 78** **Rückblende**
In der Gluthölle der Sonne
- 80** **Neu erschienen**
- 80** Hans Medick, Der Dreißigjährige Krieg
- 81** Bernhard Kegel, Ausgestorben, um zu bleiben
- 82** Stefan Deiters, Was ist jetzt dort, wo der Urknall war?
- 83** **Standorte**
- 83** **Impressum**

Hoher Besuch in Vancouver und Ottawa

Bundesforschungsministerin Anja Karliczek besichtigt deutsch-kanadische Kooperationsprojekte der Max-Planck-Gesellschaft



Quantentechnologisch interessiert: Bundesforschungsministerin Anja Karliczek lässt sich von Max-Planck-Direktor Bernhard Keimer (links) und seinem kanadischen Kollegen Andrea Damascelli über das Max-Planck-Center in Vancouver informieren.

derung, Forschung und Technikfolgenabschätzung begleitet wurde. In Vancouver bekam die Delegation Einblicke in Forschungsprojekte des Max Planck-UBC-UTokyo Center für Quantenmaterialien. Dort arbeiten mehrere Max-Planck-Institute, die University of British Columbia in Vancouver und die Universität Tokio eng zusammen. Zwei der Co-Direktoren, Bernhard Keimer vom Max-Planck-Institut für Festkörperforschung und sein kanadischer Kollege Andrea Damascelli, präsentierten der Ministerin erste Erfolge der Kooperation im Bereich von Hochtemperatur-Supraleitern. Beim Besuch des Max Planck-University of Ottawa Centre für extreme und Quantenphotonik informierten Forscher die Delegation, wie sie Laserquellen hoher Intensität entwickeln, die künftig Fertigungsprozesse optimieren sollen.

Im Zuge einer Kanadareise machte Bundesforschungsministerin Anja Karliczek auch an den Max-Planck-Centern in Vancouver und Ottawa Station. „Die Max-Planck-Center leisten wichtige Bei-

träge zur Erforschung der Quantentechnologien und für den internationalen Austausch von Wissenschaftlern“, betonte die Ministerin, die von Mitgliedern des Bundestagsausschusses Bil-

Fields-Medaille für Peter Scholze

Der neue Direktor am Max-Planck-Institut für Mathematik erhält die höchste Auszeichnung seiner Disziplin

Die Fields-Medaille gilt als Nobelpreis der Mathematik, und in diesem Jahr hat die Internationale Mathematische Union damit Peter Scholze ausgezeichnet. Der Professor am Hausdorff-Zentrum für Mathematik der Universität Bonn und Direktor am Bonner Max-Planck-Institut für Mathematik nahm den Preis auf dem Internationalen Mathematikerkongress in Rio de Janeiro entgegen. Der 30-Jährige ist erst der zweite Deutsche, der ihn erhält. Peter Scholze wurde die Medaille für seine bahnbrechenden Beiträge zur arithmetischen Geometrie verliehen. Dieses Gebiet der Mathematik verbindet Zahlentheorie mit Geometrie, untersucht also Eigenschaften der ganzen Zahlen mit geometrischen Methoden. Damit konnten jahrhundertealte Probleme wie Fermats letzter Satz bewiesen werden, die mit rein zahlentheoretischen Methoden nicht zu lösen waren. Die arith-

Außergewöhnliches Talent: Peter Scholze, Professor an der Universität Bonn und Direktor am Max-Planck-Institut für Mathematik.

metische Geometrie liefert auch die Grundlagen für viele moderne Verschlüsselungsmethoden. Die Fields-Medaille wird alle vier Jahre vergeben. Sie ehrt „herausragende mathematische Leistungen für bestehende Arbeiten und für die Aussicht auf künftige Leistungen“. Die Empfänger dürfen nicht älter als 40 Jahre sein.



Fotos: UBC/Paul H. Joseph (oben), Volker Lannert (unten)

„Unser Grenzwert ist inakzeptabel hoch“

Jos Lelieveld spricht über die tödlichen Folgen von Luftverschmutzung, vor allem durch Feinstaub

Durch Luftverschmutzung starben im Jahr 2015 weltweit etwa 4,5 Millionen Menschen vorzeitig, darunter 237.000 Kinder. Zu dem Ergebnis kommt ein Team um Jos Lelieveld, Direktor am Max-Planck-Institut für Chemie, in einer Studie im Fachmagazin LANCET PLANETARY HEALTH. Zum Vergleich: Rauchen führt jährlich zu etwa 6,4 Millionen vorzeitigen Todesfällen. Als gefährlichsten Schadstoff haben die Forscher Feinstaub mit Partikeln unter 2,5 Mikrometern Größe ausgemacht, ihm fallen allein 4,3 Millionen Menschen zum Opfer.

Herr Lelieveld, woher wissen Sie, welche Luftschadstoffe zu welchen Erkrankungen und zu wie vielen Todesfällen führen?

Jos Lelieveld: Wir gehen mit derselben Methode vor, mit der die vorzeitigen Todesfälle durchs Rauchen ermittelt werden. Die Grundlage dafür bilden Kohortenstudien, an denen vor allem in Europa und den USA mittlerweile mehr als eine Million Menschen teilgenommen haben. Darin wird erfasst, unter welchen Bedingungen Menschen leben und welchen Risikofaktoren sie ausgesetzt sind. Da werden Umweltfaktoren berücksichtigt, aber auch die Ernährung zum Beispiel. Den Risikofaktoren ordnet man mit statistischen Methoden die Krankheiten zu.

Im Jahr 2013 bezifferten Sie die Todesfälle durch Luftverschmutzung mit 3,3 Millionen. Warum jetzt die deutlich höheren Todesraten?

Die epidemiologische Datenlage hat sich seither sehr verbessert. Aber unsere Zahlen sind immer noch sehr konservativ. Es gibt Hinweise, dass die Todesraten durch Luftverschmutzung etwa in Indien und China noch größer sind. In Teilen Chinas, Indiens und Afrikas ist die Luft viel schmutziger als in den USA und in Europa, wo die Kohortenstudien laufen. Deshalb könnte der Effekt noch größer sein. Außerdem stellt sich heraus, dass wir noch nicht alle Krankheiten berücksichtigt haben, die durch Luftverschmutzung zumindest mitverursacht werden.

Was ist nötig, um die Zahl der vorzeitigen Todesfälle gerade bei Kindern zu reduzieren?
In ärmeren Ländern wie etwa in Afrika sterben viele Kinder an Lungenentzündun-

gen, die sie durch Luftschadstoffe bekommen, und das vor allem, weil die Ernährung und die medizinische Versorgung nicht gut sind. Deshalb muss man in drei Richtungen gehen: Natürlich muss die Luft sauberer werden. Aber man muss auch die Ernährung und die medizinische Versorgung verbessern. In Indien etwa hat das schon gefruchtet. Dort hat die Luftverschmutzung zwischen 2010 und 2015 zugenommen, aber die Sterberate bei Kindern ist um 30 Prozent zurückgegangen. Wahrscheinlich bekommen Kinder dort heute sogar häufiger Lungenentzündungen, sterben aber seltener daran, weil die medizinische Versorgung besser geworden ist.

Tun die politischen Entscheider schon genug gegen die Luftverschmutzung?

Den Eindruck habe ich nicht. Anders als Malaria und HIV ist das Problem der Luftverschmutzung bei den Politikern gerade in Afrika noch nicht angekommen. In vielen ärmeren Ländern wird fast an jeder Straßenecke Müll verbrannt, auch weil es keine anständige Müllentsorgung gibt. Da würde es helfen, die Leute aufzuklären, dass das für die Kinder lebensgefährlich ist. Zudem ließen sich viele Todesfälle unter Kindern mit einfachen, kostengünstigen Programmen verhindern, etwa mit sauberen Brennstoffen zum Kochen und fürs Heizen. Das hat sich in Indien gezeigt, wo oft Kuhfladen verbrannt wurden, was sehr zur Luftverschmutzung beitrug. Dort hat die Regierung, häufig unterstützt von privaten Spendern, den Menschen bessere Öfen und Zugang zu sauberen Brennstoffen verschafft. Sonst wäre die Luftverschmutzung dort heute wahrscheinlich noch schlimmer.

Auch in Mitteleuropa sterben laut Ihrer Studie noch viele Menschen an Luftverschmutzung. Hat sich die Luftqualität hier nicht verbessert?
Die Luftqualität ist zwar deutlich besser als in den 1970er-Jahren, aber sie ist noch nicht gut. Wegen der hohen Bevölkerungsdichte sind der schlechten Luft viele Menschen ausgesetzt. Deshalb ist die Sterberate in Mitteleuropa etwa so hoch wie in Indien. Auch deshalb, weil bei uns die Luft insgesamt nicht so toll ist. Dagegen gibt es in



Jos Lelieveld

Indien zwar Gebiete mit sehr schlechter Luft, aber auch solche mit sauberer.

Warum sind bei uns vor allem ältere Menschen betroffen?

Wegen der guten medizinischen Versorgung sterben Kinder hier sehr selten an einer Lungenentzündung. Auch ältere Menschen sterben in der Regel nicht an durch Luftschadstoffe ausgelösten Lungenentzündungen, sondern eher an Herz- und Gefäßerkrankungen. Die Arteriosklerose, Hauptursache dafür, entsteht über Jahre.

Wie bewerten Sie die Grenzwerte der EU?

Der Grenzwert für Feinstaub beträgt 25 Mikrogramm pro Kubikmeter Luft. In den USA liegt er bei 12, in Kanada bei 10 – das ist der Wert, den die WHO empfiehlt. Von wirklich sauberer Luft sprechen wir aber erst unter 2,5 Mikrogramm pro Kubikmeter. Unser Grenzwert ist deshalb inakzeptabel hoch, und es ist noch viel inakzeptabler, wenn er in einigen deutschen Städten überschritten wird. Die 25 Mikrogramm sind kein Grenzwert für Krankheiten.

Setzen wir mit der Diskussion um die Stickoxide von Diesel-Pkw die richtigen Prioritäten?

Die Diskussion ist nicht wirklich zielführend. Meiner Meinung nach ist Feinstaub das größere Problem. Dieselfahrzeuge sind insgesamt sehr schmutzig. Die Autos mit Euro-6-Norm sind zwar erheblich sauberer, aber ich mache mir Sorgen, wie gut sie in zehn Jahren funktionieren werden. Außerdem entsteht Feinstaub zwar auch durch Stickoxide aus dem Verkehr, aber er hat noch andere Quellen, vor allem Kohlekraftwerke und die Landwirtschaft.

Interview: Peter Hergersberg

Pionierleistungen in der Paläogenetik geehrt

Max-Planck-Direktor Svante Pääbo erhält den hochdotierten Körber-Preis 2018



Auszeichnung in Hamburg: Svante Pääbo (Mitte) erhält den Körber-Preis 2018 aus den Händen von Max-Planck-Präsident Martin Stratmann (links) und Lothar Dittmer, dem Vorstandsvorsitzenden der Körber-Stiftung.

Seine revolutionären Einblicke in die Ursprünge der Menschheit haben ihn bekannt gemacht und ihm nun wieder einen wichtigen Wissenschaftspreis eingebracht: Svante Pääbo wurde mit dem Körber-Preis für die Europäische Wissenschaft 2018 ausgezeichnet. Zu den bedeutendsten wis-

senschaftlichen Erfolgen des Direktors am Max-Planck-Institut für evolutionäre Anthropologie in Leipzig zählt die Entschlüsselung des Neandertaler-Genoms. „Seine Arbeiten haben unser Verständnis der Evolutionsgeschichte des modernen Menschen revolutioniert“, so das Urteil der Jury. Denn sie hätten wesentlich zu der Erkenntnis beigetragen, dass Neandertaler und andere ausgestorbene menschliche Gruppen einen Beitrag zur Entwicklung der heutigen Menschen geleistet haben. Bereits als Doktorand war Pääbo der Nachweis gelungen, dass DNA in altägyptischen Mumien überdauern kann. Mitte der 1990er-Jahre konnten Pääbo und seine Mitarbeiter erstmals einen Bestandteil der Mitochondrien-DNA eines Neandertalers entschlüsseln. Im Jahr 2014 gelang es dem Team in Leipzig, das Neandertaler-Genom fast komplett zu rekonstruieren. Der Körber-Preis, den Pääbo im September in Hamburg bekam, zählt mit 750 000 Euro zu den weltweit höchstdotierten Forschungspreisen.

Auf Zeitreise in Dahlem

Eine neue Smartphone-App informiert über die Geschichte des Berliner Wissenschaftsstandorts

Der Forschungscampus Dahlem im Südwesten Berlins schrieb Anfang des 20. Jahrhunderts Wissenschaftsgeschichte. Dort entstanden ab 1912 zahlreiche Institute der Kaiser-Wilhelm-Gesellschaft, der Vorläuferorganisation der Max-Planck-Gesellschaft. Adolf Butenandt, der in den 1930er-Jahren als Biochemiker in Dahlem



forschte, fühlte sich dort gar im „Götterhimmel der Wissenschaft“. Wie zahlreiche Kollegen, die in der Umgebung arbeiteten, wurde Butenandt für seine Forschung mit dem Nobelpreis geehrt. Noch heute finden sich in Dahlem Spuren der durchaus wechselhaften Vergangenheit. Mithilfe einer neuen Smartphone-App kann jeder nun auf eigene Faust den Campus erkunden: Die mit Bildern unterlegte Audioführung hat zehn Stationen, die Besucher mithilfe einer GPS-georteten Karte leicht finden können. Die Hörtexte informieren über historische Bauten und erzählen die Geschichten der Menschen, die dort arbeiteten, und ihrer Entdeckungen. Zu ihnen gehören etwa Otto Hahn und Lise Meitner, Albert Einstein und Fritz Haber. Legendar ist das deutsche Uranprojekt am Kaiser-Wilhelm-Institut für Physik, das während der NS-Zeit eine deutsche Atombombe in greifbare Nähe rücken ließ. Warum es nicht dazu kam, verrät die App mit dem Titel „Dahlem-Tour Berlin“.

Ehemals Heimat vieler Geistesgrößen: In Dahlem forschten unter anderem Lise Meitner, Fritz Haber und Albert Einstein.

Auszeichnung für tierfreundliches Verfahren

Das Bundeslandwirtschaftsministerium verleiht Tierschutzforschungspreis an Max-Planck-Wissenschaftler

Dirk Görlich und Tino Pleiner vom Max-Planck-Institut für biophysikalische Chemie in Göttingen ist es gelungen, ein Verfahren zu entwickeln, das viele Versuchstiere überflüssig macht. Dafür erhalten die beiden Wissenschaftler den diesjährigen Tierschutzforschungspreis des Bundesministeriums für Ernährung und Landwirtschaft. Sie haben sogenannte sekundäre Nanobodies entwickelt: Diese können die in Medizin und Forschung meistgenutzten Antikörper ersetzen, wodurch zukünftig deutlich weniger Tiere für die Antikörperproduktion gebraucht werden. Nanobodies sind Fragmente von besonders einfach aufgebauten Mini-Antikörpern, die im Blut

von kamelartigen Tieren wie Alpakas gebildet werden. Wenn diese Nanobodies einmal aus einer kleinen Blutprobe eines Alpakas gewonnen wurden, lassen sie sich im Labor in beliebiger Menge und beliebig oft in Bakterien vermehren. Bisher werden jedes Jahr Zehntausende Versuchstiere eingesetzt, um in großem Maßstab Antikörper zu produzieren. Neben ihrer natürlichen Funktion als Schutz vor Krankheitserregern sind Antikörper unverzichtbare Werkzeuge in der medizinischen Forschung sowie in der medizinischen Diagnostik und Therapie. Angewendet werden sie beispielsweise in Schwangerschaftstests oder bei der Blutgruppenbestimmung.



Besonderes Immunsystem: Die Antigene, die Alpakas in ihrem Blut bilden, lassen sich im Labor mithilfe von Bakterien vermehren.

Foto: Swen Pfortner / Max-Planck-Institut für biophysikalische Chemie

Die Berliner Wirtschaft boomt.

Ein wichtiger Motor sind Forschung und Entwicklung mit Expertenwissen aus Universitäten und Forschungseinrichtungen.

Berlin Partner fördert die Zusammenarbeit von Wissenschaft und Wirtschaft in Berlin und unterstützt die Gründung und Ansiedlung von wissenschaftsbasierten Unternehmen. Wir wollen, dass jede gute Idee umgesetzt wird.

Sprechen Sie uns an.
www.berlin-partner.de
technologie@berlin-partner.de

 **Berlin** Partner
für Wirtschaft und Technologie





Berlin: Party mit Chemie-Liveshow



Hannover: Anprobe von Reinraumanzügen



Düsseldorf: Mitmachexperimente für Kinder



Der Max-Planck-Tag

In einer bundesweiten Aktion präsentierten 82 Institute ihre Forschung

Von Freiburg bis Rostock, von Köln bis Dresden: In 35 deutschen Städten stand der 14. September 2018 ganz im Zeichen des bunten Hashtags. Mit diesem Logo und der Frage „Wonach suchst du?“ hatte die Max-Planck-Gesellschaft im Vorfeld auf den Max-Planck-Tag aufmerksam gemacht. 82 Institute luden Bürgerinnen und Bürger ein, Forschung live zu erleben. Geboten waren unter anderem Führungen und Mitmachexperimente, Science-Slams und Diskussionen, Kinderprogramme und Quizrunden. All das fand großen Anklang: Allein zum Wissenschaftsmarkt in München kamen mehr als 5000 Besucherinnen und Besucher. Auch aus allen anderen Teilen der Republik meldeten die Max-Planck-Institute großen Andrang – insgesamt rund 22 000 Menschen.



Hamburg: Vorträge der „Flying Professors“ in der U-Bahn



Frankfurt: „Wissensdurst“ – ein Barabend mit Kurzvorträgen



München: Wissenschaftsmarkt mit 20 Instituten und Bühnenprogramm



Stuttgart: Wissenschaftskabarettist Vince Ebert

Fotos: Thomas Eisenkrätzer, O. Burmeister, Yasmin Ahmed Salem, MPI für Eisenforschung, Friedemann Bayer, Axel Griesch, MPI für empirische Ästhetik, Johanna Detering/MPI für ausländisches und internationales Privatrecht (von oben links im Uhrzeigersinn)

Die Köpfe der ersten Dioscuri-Zentren

Aleksandra Pekowska und Grzegorz Sumara werden am Nencki-Institut in Warschau jeweils eine Gruppe aufbauen

Die Leiter der ersten beiden Dioscuri-Zentren stehen fest. Aleksandra Pekowska und Grzegorz Sumara haben sich in einem Auswahlverfahren gegen 45 Bewerber aus aller Welt durchgesetzt. Das von der Max-Planck-Gesellschaft initiierte Dioscuri-Programm soll mit Unterstützung deutscher Partner zunächst in Polen, später möglicherweise aber auch in anderen mittel- und osteuropäischen Ländern international konkurrenzfähige Forschungsgruppen etablieren. Aleksandra Pekowska baut ab dem kommenden Jahr am Nencki-Institut für experimentelle Biologie in Warschau das Dioscuri-Zentrum für evolutionäre und funktionelle Genomik der Astrozyten – bestimmter Zellen im Nervengewebe – auf. Pekowska forscht derzeit an einem der US-amerikanischen National Institutes of Health. Grzegorz Sumaras Zentrum, das ebenfalls am Nencki-Institut entsteht, wird sich der Aufklärung von Signalwegen widmen, welche bei Stoffwechselerkrankungen eine Rolle spielen. Sumara ist bislang an der Universität Würzburg tätig. Jedes der Exzellenzzentren wird mit bis zu 1,5 Millionen Euro für fünf Jahre finanziert. Die Kosten tra-



Verstärkung für die polnische Forschung: Aleksandra Pekowska wechselt aus den USA, Grzegorz Sumara aus Würzburg nach Warschau.

gen jeweils zur Hälfte das Bundesforschungsministerium und die polnische Regierung; die gastgebenden Einrichtungen in Polen stellen die Infrastruktur.

Ins Netz gegangen



Forschen ist Neugier

„Wonach suchst du?“, wollte die Max-Planck-Gesellschaft diesen Sommer wissen und rief Menschen dazu auf, Fragen an die Wissenschaft zu stellen. Zugleich gingen die beiden Videoblogger MrWissen2go und Doktor Watson auf Deutschlandreise zu verschiedenen Max-Planck-Instituten. An ungewöhnlichen Orten diskutierten sie mit Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftlern über spannende Themen, etwa in einer Weinhandlung über den Wert von Gütern oder am Baggersee über Gravitationswellen. Die 16 entstandenen Clips finden sich ebenso auf der Webseite von „wonachsuchstdu“ wie die eingegangenen Fragen und die Antworten der Max-Planck-Forscher. Die Seite lädt weiterhin dazu ein, zu stöbern und Fragen zu stellen.

www.wonachsuchstdu.de

Gekämmte Frequenzen

Ursprünglich wollte Ted Hänsch, wie ihn seine Freunde nennen, Kernphysiker werden, aber dann zog ihn eine neue Lichtquelle in den Bann: der Laser. Im Jahr 2005, fast vier Jahrzehnte später, bekam er für eine auf Lasern basierende Technik den Physik-Nobelpreis. Der von ihm entwickelte optische „Frequenzkamm-Synthesizer“ ermöglicht es, Lichtwellenlängen exakt zu bestimmen. Worum es dabei genau geht, erklärt unser neuer Podcast einfach und verständlich. Damit ist die Serie „Echt nobel – die Nobelpreisträger der Max-Planck-Gesellschaft“, die aus 15 Podcasts besteht, nun komplett und kann auf der Max-Planck-Webseite oder via Smartphone und App angehört werden.

www.mpg.de/podcasts

Willkommen in Deutschland

Viele Jahre lang war der Braindrain ein oft zitiertes Problem. Deutschland verliere seine klügsten Köpfe, weil diese aus Karrieregründen ins Ausland gehen und dann dort bleiben, beklagten Forschungspolitiker. Die Realität sieht längst anders aus. Viele ausländische Spitzenforscher zieht es inzwischen an deutsche Forschungseinrichtungen, weil sie hier attraktive Bedingungen vorfinden. Der Deutschlandfunk porträtiert Überflieger aus anderen Ländern, die hierzulande arbeiten. Darunter sind auch viele Max-Planck-Wissenschaftlerinnen und -Wissenschaftler wie Iain Couzin, Stuart Parkin, Ignacio Cirac und Alessandra Buonanno.

www.deutschlandfunk.de/braingain

Afrikas Demokratien im Niedergang

Afrika ist ein Kontinent der Diktatoren. Laut Demokratieindex der Zeitschrift ECONOMIST sind nur neun der gelisteten 50 Staaten wirklich demokratisch regiert, mehr als die Hälfte stehen unter autokratischer Herrschaft. Wahlen werden manipuliert, die Opposition unterdrückt, Demonstrationen gewaltsam aufgelöst. Mehr und mehr nutzen die Alleinherrscher auch elektronische Systeme, um ihre Macht zu sichern – und dies weitgehend ungestört. Denn Europa und die USA schauen aus Angst vor ethnischen Konflikten viel zu oft weg, kritisiert unsere Autorin.

TEXT ELENA GADJANOVA

Erdratschiese bei Wahlen, zumal in jungen Demokratien, verheißen häufig nichts Gutes. Die vergleichende Demokratisierungsforschung weiß seit Langem, dass die hohen Prozentzahlen der Sieger umgekehrt proportional sind zur Qualität der Demokratie eines Landes. Im Oktober 2017 gewann Uhuru Kenyatta, der amtierende Präsident Kenias, 98 Prozent der Stimmen

Der Optimismus in Kenia schlug schnell in Zynismus, Apathie und Angst um

in einer Wiederholungswahl, nachdem der Oberste Gerichtshof den Urnengang vom August für ungültig erklärt hatte. Durch diesen „Sieg“ begibt sich Uhuru in die ziemlich zweifelhafte Gesellschaft von Paul Kagame, der in Ruanda mit fast 99 Prozent der Stimmen wiedergewählt wurde, Omar al-Bashir aus

dem Sudan (95 Prozent), Salva Kiir Mayardit aus dem Südsudan (93 Prozent) und Teodoro Mbasogo aus Äquatorialguinea (94 Prozent).

Die Opposition in Kenia boykottierte den zweiten Urnengang im Oktober, an dem sich nur magere 35 Prozent der Wahlberechtigten beteiligten – nur wenige Wochen zuvor, im August, hatten knapp 80 Prozent ihre Stimme abgegeben. In einigen Hochburgen der Opposition kamen bei Zusammenstößen zwischen Polizei und Oppositionsanhängern etliche Menschen ums Leben.

Nur einen Monat vorher, im September 2017, hatte alles noch ganz anders ausgesehen. Zu dem Zeitpunkt herrschte weithin Optimismus, dass Kenia ganz klar Kurs in Richtung Demokratie nehmen würde. Der Oberste Gerichtshof des Landes annullierte die Präsidentschaftswahl vom August 2017 aufgrund „massiver Unregelmäßigkeiten und Rechtsverstöße“

Zurückhaltende Kontrolleure: Wahlbeobachter des Commonwealth stellten bei der Präsidentschaftswahl in Kenia im August 2017 keine Unregelmäßigkeiten fest. Vier Wochen später annullierte das kenianische Verfassungsgericht die Wahl.



und ordnete Neuwahlen an. Dies wurde als historische Entscheidung gewertet und als Triumph der Rechtsstaatlichkeit über politische Straffreiheit. Die Bürgerinnen und Bürger Kenias erhielten von ihrem eigenen Gericht die Botschaft, dass sie von ihren Institutionen und Politikern mehr erwarten könnten und sollten.

Das war von großer Bedeutung, weil Wahlen in Afrika oft unter der „Tyrannei gedämpfter Erwartungen“ leiden: Aus Angst vor politischer Instabilität gibt man sich mit niedrigeren Standards zufrieden. Und

Analoge Kontrollmethoden sind nicht mehr geeignet für digitale Stimmauswertung

genau diese permanente Furcht vor Gewaltausbrüchen und politischen Unruhen ist es, die auch ausländische Wahlbeobachter in Afrika häufig über Unregelmäßigkeiten hinwegsehen und Wahlen absegnen lässt, die anderswo nicht toleriert würden. Das wiederum eröffnet Amtsinhabern die Möglichkeit, Abstimmungen geschickt zu manipulieren; gleichzeitig werden dadurch Bemühungen unterlaufen, gewählte Volksvertreter zur Rechenschaft zu ziehen.

Die Entscheidung des Obersten Gerichtshofs von Kenia jedoch verlieh den Reformkräften im eigenen Land und in anderen Teilen Afrikas neue Stärke. Im September 2017 bestand zumindest einen Moment lang die Hoffnung, dass die Gerechtigkeit stärker sei als der Wunsch, die Stabilität des politischen Systems um jeden Preis zu erhalten. Doch Maßnahmen zur Sicherstellung freier und gerechter Neuwahlen wurden nie ergriffen. Aus „Zeitmangel“ wurde auf eine Reform der Wahlkommission verzichtet, sodass dieselben Wahlleiter, die die Abstimmung im August verpfuscht hatten, auch die wiederholte Wahl beaufsichtigen durften. Es wurden zudem keinerlei Vorkehrungen getroffen, um die Sicherheit des elektronischen Wahlsystems zu verbessern, die schon im August nicht gewährleistet war.

Die regierende Jubilee-Partei peitschte ein neues Wahlgesetz durchs Parlament, das die Kompetenzen des Obersten Gerichtshofs beschneidet, Wahlen zu

annullieren. Es legt außerdem fest, dass ein Kandidat automatisch gewinnt, wenn der Gegenkandidat von der Wahl zurücktritt. Die Richter des Obersten Gerichtshofs wurden so stark unter Druck gesetzt, dass eine in letzter Minute eingereichte Klage auf Aussetzung der Wahl im Oktober mangels Beschlussfähigkeit nicht verhandelt werden konnte, da lediglich zwei von sieben Richtern anwesend waren.

So erodieren nach und nach die wenigen noch verbleibenden institutionellen Garantien der Demokratie in Kenia. Die Wahlkommission und das Parlament wurden in den Dienst des Regimes gestellt, und es zeigt sich, dass die Gerichte ihrer Zuständigkeit beraubt werden. Es gibt Beweise, dass die Polizei Maßnahmen des *ethnic profiling* ergriffen hat und mit Gewalt gegen ethnische Gruppen vorgegangen ist, die mutmaßlich die Opposition unterstützen; dabei wurden mehrere Dutzend Menschen erschossen. Bürgerorganisationen werden in ihrer Arbeit behindert. Die Medien, die früher zu den freisten und objektivsten in Afrika zählten, wandeln sich zum Sprachrohr der Regierungspartei.

Der Optimismus vom September 2017 schlug schnell in Resignation, Zynismus, Apathie und Angst um. Die Demokratie in Kenia wurde innerhalb nur weniger Monate um mehrere Jahrzehnte zurückgeworfen: Die Geschwindigkeit, mit der sich dieser Wandel vollzog, war bemerkenswert. Gleichzeitig wurden dadurch Autokraten in anderen Regionen des Kontinents bestärkt.

Das Drama der Wahlen in Kenia und der Rückzug auf autokratische Strukturen im Lauf des vergangenen Jahres sind ein Sinnbild für den Niedergang der Demokratie in anderen Teilen Afrikas. Die Aussichten für die Demokratie leiden, wenn Chancen und Momente der Hoffnung verspielt werden, weil ein Regime sich weigert, Macht abzugeben. Wir haben gesehen, wie sich dieses düstere Szenario in verschiedenen afrikanischen Ländern entfaltet: In Togo, wo auf Menschen eingeschlagen und geschossen wird, die gegen Faure Gnassingbé protestieren, dessen Familie seit 50 Jahren an der Macht ist. Ebenso in Burundi, wo die Entscheidung von Präsident Nkurunziza, seine Amtszeit bis 2034 zu verlängern, zu gewalttätigen Auseinandersetzungen führte. Und in Uganda, wo eine Abstimmung über die Abschaffung der Altersgrenze für das Präsidentenamt in eine Schlägerei unter den Abgeordneten im Parlament



ausartete. In Simbabwe feuerte Robert Mugabe seinen Vizepräsidenten im November 2017, um seine Ehefrau als Nachfolgerin einzusetzen. In der Folge kam es zu einem Militärputsch. Aus den Wahlen am 30. Juli ging der Kandidat von Mugabes Partei ZANU-PF erneut als Sieger hervor, doch die Opposition zweifelt die Ergebnisse an. Bei den darauffolgenden Protesten schoss die Armee auf Demonstranten in der Hauptstadt Harare, mehrere Menschen starben.

In Sambia, das in den späten 1990er-Jahren große Fortschritte in Richtung Demokratie zu machen schien, wurden zentrale demokratische Institutionen wie die Justiz, Bürgerorganisationen, die Polizei und die Wahlkommission Schritt für Schritt unterwandert, bedroht oder zum Schweigen gebracht. Die Machthaber zeigen ganz offen, dass sie keine Achtung vor dem Rechtsstaat haben und oppositionelle Meinungen nicht tolerieren. Folglich hat die Bevölkerung kein Vertrauen mehr – weder in die gewählten Politiker noch in den demokratischen Prozess insgesamt. Die wachsende Apathie, die sich unter den Wählerinnen und Wählern ausbreitet, zersetzt langfristig die demokratischen Strukturen.

In Tansania verbot Präsident John Magufulis Regierung politische Aktivitäten und Demonstrationen und steckte führende Oppositionspolitiker ins Gefängnis. Verschiedene Nichtregierungsorganisationen und die Kirchen dokumentieren seit 2016 Entführungen, Folter und politische Morde. In einem Akt der Verzweiflung organisierten oppositionelle Gruppen im Februar 2018 einen Protestmarsch zum Büro der Delegation der Europäischen Union in Daressalam, wo sie um Schutz und Unterstützung baten.

Darüber hinaus hat sich in Afrika im Lauf des vergangenen Jahres schmerzlich gezeigt, dass die internationale Staatengemeinschaft ihre Rolle und ihren Ansatz zur Demokratieförderung auf dem Kontinent überdenken muss. Mehrere Wahlbeobachtermissionen haben kollektiv versagt: So schafften es weder die Europäische noch die Afrikanische Union und ebenso wenig US-amerikanische Nichtregierungsorganisationen, im August 2017 Unregelmäßigkeiten bei den Wahlen in Kenia zu entdecken und entsprechend Alarm zu schlagen. Die Sorge um Stabilität und die Tatsache, dass Wahlbeobachtermissionen in Afrika in den vergangenen zehn Jahren die Tendenz hatten, Unregelmäßigkeiten zu übersehen, erklären dies nur zum Teil.

Eine weitere Ursache liegt darin, dass die Überwachungsmethoden nicht mehr geeignet sind für elektronisch gesteuerte Stimmenaushaltungen, wie sie heutzutage bei Wahlen in Afrika zum Einsatz kommen. Manche Länder haben elektronische Wählerverzeichnisse und Auszählungsverfahren eingeführt, die Fälschungen in ganz anderem Umfang ermöglichen als früher und zudem viel schwieriger aufzudecken sind. Solche Manipulationen finden oft erst statt, nachdem die Wählerinnen und Wähler ihre Stimmen abgegeben haben, und möglicherweise auch erst, nachdem die Wahlbeobachter nicht mehr im Land sind.

Um die kenianische Autorin und Bloggerin Nanjala Nyabola zu zitieren, die regelmäßig politische Kommentare über die Region schreibt, bedient sich die internationale Staatengemeinschaft noch immer analoger Kontrollmethoden für die zunehmend digitalisierte Stimmenaushaltung in Afrika. Wenn die internationale Staatengemeinschaft die Demokratie in Afrika und darüber hinaus effektiv fördern will, muss sie ihre Erwartungen sowie ihre Instrumente und Methoden ändern. Sich aus der Wahlbeobachtung zurückzuziehen, wie es die meisten Missionen

Cambridge Analytica beeinflusste Wahlen zugunsten der Amtsinhaber

bei der Wiederholungswahl im Oktober 2017 getan haben, ist keine Lösung. Dadurch werden nur die Autokraten gestärkt und die Reformkräfte im Land weiter geschwächt.

Dazu kommt, dass ausländische Wahlkampfberater mit ihrem Engagement in verschiedenen afrikanischen Ländern zunehmend die Demokratie auf dem Kontinent gefährden. Das inzwischen berüchtigte Datenanalyseunternehmen Cambridge Analytica ist das bekannteste, aber keinesfalls einzige Beispiel für dieses Phänomen. Durch neuartige Mikrotargeting-Verfahren, wie das Kategorisieren von Persönlichkeiten und die Ansprache mit individuell zugeschnittenen Botschaften im Internet, wird die internationale Wahlkampfberatung zu einem äußerst bedrohlichen



Business – gerade in Kombination mit lokalen Autokraten und fehlenden Datenschutzrichtlinien. Vor den Wahlen in Kenia und Nigeria startete Cambridge Analytica im Auftrag der Amtsinhaber eine Kampagne, die darauf abzielte, unter den verschiedenen ethnischen Gruppen Ängste zu schüren und die Opposition einzuschüchtern. Gerüchte und Fehlinformationen wurden über soziale Netzwerke und gezielte SMS verbreitet. In einem Land, in dem es schon öfter im Vorfeld einer Wahl zu gewalttätigen Ausschreitungen zwischen verschiedenen ethnischen Bevölkerungsgruppen gekommen war, ist dies besonders perfide.

Das Abgreifen persönlicher Daten aus sozialen Netzwerken ohne Wissen und Einverständnis der Nutzer und die Verwendung dieser Daten für Mikrotargeting im Wahlkampf hat sich zu einem globalen Problem entwickelt mit weitreichenden Folgen für die Regierungsführung und für die Demokratie weltweit. Cambridge Analytica war an der Wahl in Nigeria im Jahr 2015 beteiligt, am Brexit-Referendum im Juni 2016 und an Donald Trumps Wahlkampf im Jahr 2016. Das Unternehmen hat durch seine Arbeit die Diskrepanz zwischen der wachsenden Bedeutung sozialer Netzwerke für die politische Kommunikation einerseits und dem Fehlen der nötigen Regulierung dieses immer beliebteren Informationsmediums andererseits zutage treten lassen. Die Folgen dieser Kluft werden erst jetzt und ganz allmählich offenkundig. Inwieweit das Unternehmen in der Lage war, Wahlergebnisse zu beeinflussen, ist fraglich. Fest steht jedoch, dass es zu einem Klima der Fehlinformation und der Angst beigetragen hat, welches das Vertrauen der Menschen in den demokratischen Prozess untergräbt.

Und in einer auffälligen Parallele zu der Doppelmoral, die Wahlbeobachter seit Langem bei Wahlen in Afrika walten lassen, entschuldigte sich Facebook zwar offiziell bei den Nutzern in den USA und Großbritannien dafür, dass es die Nutzung persönlicher Daten durch Wahlkampfberater zugelassen hatte. Doch an die Nutzer in Kenia, Nigeria oder anderen afrikanischen Staaten ging keine entsprechende Entschuldigung. Facebook signalisierte damit faktisch, dass bestimmte User auf dem globalen Marktplatz persönlicher Daten eine bessere Behandlung und mehr Schutz verdienten als andere. Dies ist Wasser auf die Mühlen von Autokraten, die die Spielregeln zu ihren Gunsten aus-

legen, um sich an der Macht zu halten – und die damit ein weiteres mächtiges Werkzeug an die Hand bekommen, um Wahlen zu manipulieren.

Alles in allem sind derzeit Amtsinhaber, die sich um jeden Preis an die Macht klammern, die größte Bedrohung für die Demokratie in Afrika und anderswo. Autokraten halten die Fassade von Wahlen aufrecht, um ihre Herrschaft zu legitimieren. Dabei unterterminieren sie jedoch allmählich und unerbittlich

Demokratien funktionieren, wenn Machthaber freiwillig ihren Posten abgeben

von innen heraus die Institutionen, die die Demokratie unterstützen – Gerichte, Wahlkommissionen, Medien und die Zivilgesellschaft. Ausländische Wahlkampfberater haben die Erlaubnis, ungestraft zu agieren, und sie haben die Spielregeln zugunsten der Amtsinhaber umgestaltet. Unter den Bürgerinnen und Bürgern machen sich immer mehr Zynismus, Resignation und Apathie breit, und es gibt Hinweise darauf, dass die Unterstützung der Demokratie auf dem ganzen Kontinent auf dem Rückzug ist. Apathie und die Angst der Wähler haben wiederum zur Folge, dass der zunehmend autokratische Regierungsstil nicht auf Empörung und Gegenwehr stößt, sodass die autoritären Machthaber straflos weitermachen können.

Es ist dennoch sehr wichtig festzuhalten, dass die Demokratie nicht überall in Afrika im Niedergang begriffen ist. Nach einer langen politischen Krise, die Äthiopien wegen ethnischer Konflikte zu zerreißen drohte, hat der neue Premierminister des Landes seine Unterstützung für die Mehrparteiendemokratie betont. Er verpflichtete sich zur Abhaltung von Wahlen, entkriminalisierte Oppositionsparteien und schloss eine Verlängerung seiner Amtszeit aus. Das macht deutlich, dass die Aussetzung der Menschenrechte und bürgerlichen Freiheiten in Krisenzeiten eine politische Entscheidung ist und keine zwingende Maßnahme, um die Sicherheit aufrechtzuerhalten.

Im Dezember 2016 fanden in Ghana die sechsten friedlichen Wahlen in Folge statt, die zum dritten Mal

zu einem Regierungswechsel führten, bei dem die Oppositionspartei die Präsidentschaft und eine Mehrheit im Parlament gewann. Dabei hatten sich die beiden relativ gefestigten und ausgeglichenen Parteien ein Kopf-an-Kopf-Rennen geliefert. Im Jahr 2008 lag der Vorsprung bei den Präsidentschaftswahlen bei weniger als einem halben Prozentpunkt, 2012 bei zwei und 2016 bei neun Prozentpunkten. Dennoch wurden die Ergebnisse von der jeweils unterlegenen Seite akzeptiert, die Amtsinhaber traten zurück, nachdem sie beim Urnengang geschlagen worden waren. Dies ist vor allem darauf zurückzuführen, dass die Wahlkommission größtes Vertrauen genießt und den Ruf hat, die Wahlen im Land effektiv zu steuern. Auch der Präsident von Botswana trat vor Kurzem zurück, nachdem er seine gesetzlich festgelegte maximale Amtszeit von zehn Jahren erreicht hatte. Neuwahlen sind für 2019 geplant.

An der Frage, ob Amtsinhaber nach Ende ihrer Amtszeit oder nach einer Wahlniederlage auf die Macht verzichten, zeigt es sich, ob Demokratien in Afrika funktionieren oder nicht. Ist dies gegeben, wird das Vertrauen in den Wahlprozess und in die Institutionen gestärkt, soziale Spannungen werden abgebaut und alle Seiten ermutigt, nicht außerhalb, sondern im Rahmen der bestehenden demokratischen Strukturen auf die Wählerinnen und Wähler zuzugehen. Die Wahlverlierer von heute vertrauen darauf, dass sie die Wahlsieger von morgen sein können, und haben so einen Anreiz, das Spiel weiterhin mitzuspielen. Andererseits werden die Wählerinnen und Wähler darin bestärkt, Rechenschaft einzufordern und einen Wandel durch den Gang an die Urne durchzusetzen; dadurch schützen sie das System.

Die Demokratie in Ghana hat sich so gut entwickelt, dass inzwischen viele im Land wirklich stolz darauf sind: In einer Umfrage im Dezember 2016, in der ich die Bürgerinnen und Bürger des Landes fragte, worauf sie als Ghanaer besonders stolz seien, nannten viele die Erfolgsgeschichte der freien, fairen und friedlichen Wahlen.

Wenn ein Regierungssystem als wertvoll angesehen und zum Bestandteil eines positiven nationalen Selbstbildes wird, werden Angriffe und Umsturzversuche kaum toleriert und daher unwahrscheinlich. Eine widerstandsfähige Demokratie erfordert also ein klares Bekenntnis zu ihren Werten sowie zu ihren Prozessen und Institutionen. ◀



DIE AUTORIN

Elena Gadjanova, Jahrgang 1982, ist seit September 2018 Lecturer für Politik an der Universität Exeter. Zuvor lehrte sie an der Blavatnik School of Government der Oxford University und forschte am Max-Planck-Institut für multi-religiöse und multiethnische Gesellschaften in Göttingen. Weitere Stationen ihrer Laufbahn führten sie nach Princeton und Genf. Ihr wissenschaftlicher Schwerpunkt liegt auf politischer Kommunikation, Wahlen und ethnischer Politik in Afrika südlich der Sahara. Gadjanova ist außerdem Mitherausgeberin der interdisziplinären Zeitschrift *NEW DIVERSITIES*.



Zwischen Promotion und Baby

An den Max-Planck-Instituten arbeiten Wissenschaftler aus 100 Ländern. Hier schreiben sie über persönliche Erlebnisse und Eindrücke. Julia Misersky, Doktorandin am Max-Planck-Institut für Psycholinguistik in Nijmegen, ist vor Kurzem in Mutterschaftsurlaub gegangen. Hier stellt sie ihr Forschungsthema vor, erklärt, wie sie Promotion und Kind unter einen Hut bringen will und wie sie sich dafür einsetzt, die Bedingungen junger Eltern zu verbessern.

Ich bin vor Kurzem in Mutterschaftsurlaub gegangen, der in den Niederlanden etwas kürzer ausfällt als in Deutschland. Hier haben schwangere Angestellte nur Anspruch auf 16 Wochen. Um so lange wie möglich nach der Geburt bei meinem Baby bleiben zu können, bin ich erst vier Wochen vor dem Geburtstermin in Mutterschaftsurlaub gegangen. Zusätzlich habe ich noch aufgesparte Urlaubstage, die ich danach anschließen werde.

Zudem wird mein Partner nach der Geburt sechs Wochen unbezahlten Urlaub nehmen. Sobald wir beide wieder arbeiten, werden wir uns das niederländische *Ouderschapsverlof* zunutze machen. Dabei handelt es sich um einen gesetzlich geregelten Anspruch auf zusätzliche Elternzeit, bei dem Angestellte unbezahlten Urlaub abhängig von ihrer Regelarbeitszeit nehmen dürfen.

In meiner Forschung interessiert mich, wie verschiedene Sprachhintergründe – also Unterschiede in Vokabular und Grammatik zwischen verschiedenen Sprachen – beeinflussen, wie wir die Welt um uns herum wahrnehmen. Für meine Doktorarbeit untersuche ich, wann und wie Sprache sich auf die Wahrnehmung auswirkt. Dazu führen wir Experimente durch, bei denen wir manipulieren, was die Versuchspersonen sehen, wann sie es sehen und wie lange.



Julia Misersky, 30, studierte Psychologie an der University of Sussex. Nach ihrem Bachelor wechselte sie an die Radboud University in Nijmegen und absolvierte einen Master in Cognitive Neuroscience. Seit November 2016 ist sie am Max-Planck-Institut für Psycholinguistik in Nijmegen und arbeitet im Neurobiology of Language Department unter Führung von Direktor Peter Hagoort an ihrer Promotion. Julia Misersky vertritt die Geistes-, Sozial- und Humanwissenschaftliche Sektion im PhDnet der Max-Planck-Gesellschaft.

Wir versuchen, unsere Experimente so zu gestalten, wie Menschen die Welt tagtäglich wahrnehmen. Dies erreichen wir zum Beispiel durch *Virtual-reality*-Methoden. Darüber hinaus besitzen die Teilnehmenden verschiedene Sprachhintergründe. So können wir analysieren, wie ihre jeweilige Muttersprache beeinflusst wird, wie die Versuchspersonen die Welt wahrnehmen, wie sie spezielle Situationen bewerten oder wie ihre Gehirne auf bestimmte Reize reagieren. Dazu habe ich bisher Eye-Tracking und neuronale Bildgebungsverfahren eingesetzt.

Unser Kleines wird bereits mit drei oder vier Monaten in der Kita betreut werden – wenn auch nur an zwei Tagen pro Woche. Es ist keine ideale Situation, verglichen mit den Standards, die wir aus Deutschland kennen, aber es ist ein Kompromiss, mit dem wir beide leben können.

Die Tatsache, dass jeder an meinem Institut unglaublich verständnisvoll reagiert und mich unterstützt, ermutigt mich dabei ungemein – meine Betreuerin zum Beispiel, die gerade erst ihr zweites Kind bekommen hat, und auch die Angestellten in der Verwaltung haben mir nach Kräften unter die Arme gegriffen. Sie haben mich mit der Rechtslage in den Niederlanden bezüglich Arbeit und Elternzeit vertraut gemacht und mir das Kinderbetreuungsangebot der Max-Planck-Gesellschaft, das sogenannte MPG-Schnullerprogramm, erklärt.

Mir ist bewusst, dass meine Situation nicht unbedingt auf andere übertragbar ist. In den vergangenen Monaten konnte ich viele Erfahrungen von anderen Promovierenden zu diesem Thema sammeln – positive wie negative. Bei der diesjährigen Phdnet Steering Group steht die Vereinbarkeit von Kind und Karriere oben auf der Agenda, weshalb wir in Zusammenarbeit mit der Zentralverwaltung eine Arbeitsgruppe gegründet haben. Ich bin zuversichtlich, dass die Ergebnisse dazu beitragen, dass Promotion und Elternschaft eine runde Sache für alle Beteiligten werden.

Nach meinem Mutterschaftsurlaub habe ich noch einige Jahre für meine Promotion vor mir. Deswegen kann ich zum momentanen Zeitpunkt nicht sagen, was danach passiert. Zunächst einmal werde ich erfahren, was es heißt, eine Familie zu haben. Alles andere wird man dann sehen.

Frühwarnsystem für Falschmeldungen

Fake News in sozialen Medien effizienter und treffgenauer bekämpfen:
Manuel Gomez Rodriguez vom **Max-Planck-Institut für Softwaresysteme**
kombiniert Verfahren der künstlichen Intelligenz mit der Auswertung von
Signalen, in denen sich menschliches Urteil widerspiegelt.

Faktencheck vor dem Internetzeitalter:
Wenn Pinocchio log, war das der Märchen-
figur an der Nase anzusehen. Gegen
Falschmeldungen in den sozialen Medien
würde das aber auch nicht helfen.



TEXT RALF GRÖTKER

Falschmeldungen sind gefährlich, manchmal sogar für Leib und Leben. Am 4. Dezember 2016 etwa drang ein Mann mit einem Sturmgewehr in die Pizzeria Comet Ping Pong in Washington, D. C., ein. Sein Vorhaben: Er wollte die angeblich in dem Restaurant festgehaltenen und missbrauchten Kinder befreien. Wie Millionen andere Internetnutzer hatte er über die sozialen Medien *Reddit* und *4chan* davon erfahren, dass der Keller dieser Pizzeria der Stützpunkt eines Pädophilenrings sei. Im Zentrum des Rings, so die Legende, habe die damalige Präsidentschaftskandidatin Hillary Clinton gestanden. Zu denjenigen, die die Falschmeldung mit verbreitet hatten, zählten der zwischenzeitliche Nationale Sicherheitsberater von Donald Trump, Michael T. Flynn und dessen Sohn.

„Pizzagate“ markiert einen der vorläufigen Höhepunkte von Fake News. Zahlreiche soziale Netzwerke haben mittlerweile begonnen, ihre Nutzer um Hinweise auf falsche Meldungen zu bitten. Einige sind auch Kooperationen mit journalistischen Organisationen, die Fakten überprüfen, eingegangen, in Deutschland zum Beispiel mit *correctiv.org*.

Manuel Gomez Rodriguez, Gruppenleiter am Max-Planck-Institut für Softwaresysteme in Kaiserslautern, arbeitet mit seinem Team an ausgeklügelten Verfahren, damit sich Falschnachrichten treffgenauer und effizienter identifizieren lassen. Die Methoden greifen dabei wie die Teile eines Puzzles ineinander, um die verschiedenen Aspekte und Informationen, die sich aus dem Nachrichtenstrom herauslesen lassen, im Zusammenhang zu analysieren. „Wir verfolgen einen hybriden Ansatz“, erklärt Gomez Rodriguez. „Wir

Pope Francis shocks world, endorses Donald Trump for president



Die Behauptung, Papst Franziskus befürworte die Wahl von Donald Trump zum Präsidenten, verbreitete sich millionenfach, war aber völlig frei erfunden. Das wäre einfach aufzudecken gewesen: Die Webseite *WTOE 5 News*, die sie in die Welt setzte, bezeichnet sich selbst als Seite für Fantasienachrichten.

kombinieren Verfahren der künstlichen Intelligenz mit der Auswertung von Signalen, in denen sich menschliches Urteil widerspiegelt.“

Als ein zentrales Ergebnis ihrer Arbeit haben die Forscher „Curb“ präsentiert, ausgesprochen wie das englische Wort für „Drosselung“. Der Algorithmus priorisiert, welche Inhalte die nur begrenzt verfügbaren menschlichen Faktenchecker am dringendsten überprüfen und gegebenenfalls als falsch kennzeichnen müssen. Ziel ist, dass möglichst wenige Menschen Falschmeldungen lesen, bevor diese als solche markiert sind.

EIN VERFAHREN MIT EINEM DYNAMISCHEN SCHWELLENWERT

Als wesentliche Information wertet das Verfahren auf ausgeklügelte Weise aus, wie Nutzer mit Inhalten umgehen. Zum einen, in welchem Maß Nutzer Inhalte weiterleiten und in welchem Tempo sich diese folglich verbreiten, zum anderen, wie viele Nutzer einen Beitrag als

Fake markieren. Dies sind wichtige Kriterien dafür, wie schnell sich eine eventuelle Falschnachricht verbreitet. Gomez Rodriguez: „Während die meisten sozialen Medien momentan lediglich die Anzahl von Beanstandungen durch Nutzer auswerten, verwendet unser Verfahren einen dynamischen Schwellenwert, der sich über die Zeit hin verändert und der auf die Viralität einer Nachricht reagiert sowie auf die Wahrscheinlichkeit, mit der es sich um Fake News handelt.“

Konkret nimmt der Algorithmus, den Gomez Rodriguez und sein Team entwickelt haben, zunächst die Relation zwischen Beanstandungen auf der einen Seite und Weiterleitungen (*shares*) ohne Beanstandung auf der anderen Seite in den Blick. Je öfter, im Verhältnis, eine Nachricht ohne Beanstandung geteilt wird, desto größer die Wahrscheinlichkeit, dass sie *nicht* falsch ist. Allerdings: Je schneller sich eine Nachricht verbreitet, desto größer der potenzielle Schaden in dem Fall, dass es sich doch um eine falsche Meldung handelt. Curb löst

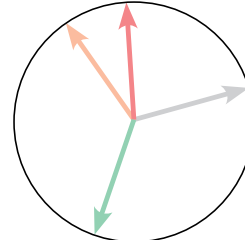
Kommentare

Ich mag rote Bonbons!
Ich mag grüne Bonbons!
Bonbons sind gut, und rote sind die besten!
Bonbons sind ungesund!

Nutzerbewertungen

1	2	3	4	5
👍		👎		👍
👎	👎	👍	👍	👎
👍			👍	👍
👎	👍	👍	👎	👍

Meinungen



Textanalyse über Nutzerbewertungen: Wie differenziert oder polarisiert Aussagen im Netz sind, analysieren Max-Planck-Forscher aus Kaiserslautern an der Zustimmung (Daumen hoch) und Ablehnung (Daumen runter), die Sätze in einer Sequenz erfahren (Mitte). Daraus ermitteln sie Vektoren, die eine Aussage im Meinungsraum verorten (rechts). In der Darstellung ist zu erkennen, dass die Aussagen „Ich mag rote Bonbons“ (roter Vektor) und „Ich mag grüne Bonbons“ (grüner Vektor) entgegengesetzte Meinungen ausdrücken. Am Bonbon-Beispiel demonstrieren die Forscher ihr Vorgehen.

dieses Problem, indem die Informationen über die Verbreitungsgeschwindigkeit und über die Wahrscheinlichkeit, dass es sich um Fake News handelt, nebeneinander betrachtet und dabei immer wieder aktualisiert werden. Aufgabe des Algorithmus ist es, zwischen den beiden Kriterien optimal abzuwägen.

Ein Beispiel: Angenommen, eine Nachricht wird zehnmal pro Stunde geteilt und die Wahrscheinlichkeit, dass sie falsch ist, liegt der Nutzerbewertung zufolge bei fünfzig Prozent. Dann kann man rechnerisch davon ausgehen, dass pro Stunde fünf Nutzer einer Falschmeldung ausgesetzt werden. Diese Rechnung wird nun jedes Mal angepasst, wenn ein Nutzer die betreffende Nachricht weiterleitet und sie entweder als falsch markiert (*flaggt*) oder als mutmaßlich solide Nachricht nicht beanstandet. Auf diese dynamische Weise schafft der Algorithmus eine optimale

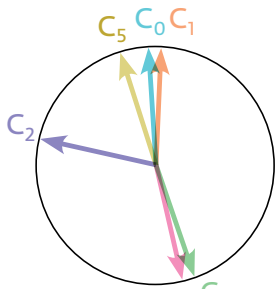
Balance: zwischen dem Bemühen, möglichst wenige Menschen mit undeckelten Falschmeldungen zu konfrontieren einerseits, und der Effizienz beim Einsatz der menschlichen Faktenchecker andererseits.

TEST MIT DATEN VON TWITTER UND WEIBO

Der finale Test für Curb war das Experiment mit realen Daten, die Wissenschaftler der koreanischen KAIST-Universität bereits via Webcrawling aus den Netzwerken Twitter und Weibo gesammelt und öffentlich zur Verfügung gestellt hatten. Der größere der beiden Datensätze aus dem chinesischen Social-Media-Netzwerk Weibo bestand aus mehr als 4600 einzelnen Nachrichtenmeldungen, die 2,8 Millionen Nutzer in Form von Posts oder Weiterleitungen 3,7 Millionen Mal gesendet hatten. „Wir

kannten die Netzwerkstrukturen innerhalb des Datensatzes, also wie viele Follower die einzelnen Nutzer hatten, und wir wussten auch, welche der Nachrichtenmeldungen die Faktencheck-Organisation Snopes als Fake News deklariert hatte“, erläutert Gomez Rodriguez.“

Nicht bekannt war, wie und wann die Nutzer in dem Datensatz die Nachrichten geflaggt hatten. Hier mussten sich die Forscher mit einem Trick behelfen. Sie griffen dabei auf andere Untersuchungen zurück, wie oft Nutzer tatsächlich falsche Nachrichten als solche markiert hatten – so konnten sie begründete Annahmen darüber anstellen, wie gut Nutzer falsche Nachrichten erkennen und wie oft sie diese im Schnitt dann auch markieren. „Wir haben unseren Algorithmus einfach ein breites Spektrum an plausiblen Flagging-Verhalten ausprobieren lassen“, erläutert Gomez Rodriguez.



Meinungen

C ₀	[...] [Donald Trump] has [...] Enquirers ^a [which] he considers a treasure trove of information.
C ₁	He should change his name to Donald J Dubious.
C ₂	[...] Trump] can be an #\$\$\$, and Islam can be cancer [...] they are not mutually exclusive [...]
C ₃	Why not? Try anything. Terrorism has got to stop now!
C ₄	It is a great idea.
C ₅	Trump family motto: "It's not a lie if you believe it."

^a National Enquirers is a well known entertainment magazine in US.

Orientierungshilfe im politischen Meinungsspektrum: Wie Nutzer die Kommentare in einer Onlinediskussion über Donald Trump bewerten, gibt Aufschluss über die politische Haltung hinter den Kommentaren, die sich in Vektoren im Meinungsraum erfassen lassen. So stammen die Aussagen C₀, C₁ und C₅ offensichtlich von Menschen mit völlig anderer politischer Einstellung als die Aussagen C₃ und C₄.

Vote Hillary from home! Save time & avoid the line!



Die Werbung, Unterstützer von Hillary Clinton könnten ihre Stimme als Textnachricht abgeben, sollte Wähler in die Irre führen. Die Anzeige mit dem Logo der Clinton-Kampagne wurde über Twitter verbreitet. Wer ihr folgte, verschenkte seine Stimme jedoch, denn per SMS zu wählen, war nicht möglich.

In dem Experiment mit den realen Daten aus Twitter oder Weibo testeten die Forscher aus Kaiserslautern, wie effektiv ihr Algorithmus, verglichen mit anderen Methoden, verdächtige Meldungen zum Faktencheck lotst. Gegen Curb trat unter anderem das Pseudoverfahren Oracle an, welches im Test-szenario ganz schlicht Zugang zu der Information hatte, ob eine Nachricht tatsächlich falsch war oder nicht, und die Meldung dementsprechend zum Faktencheck schickte.

Andere Vergleichsmethoden benutzen einfache Faustregeln: einmal ein Algorithmus, der – wie die Methode des Kaiserslauterner Teams – aus dem bloßen Verhältnis zwischen der Anzahl der *flags* und der Anzahl von Weiterleitungen die Dringlichkeit für den Faktencheck ermittelt; dann ein Algorithmus, der eine Nachricht dem Faktencheck überstellt, sobald eine bestimmte Zahl von *flags* erreicht ist; schließlich ein Algorithmus, der allein das Ausmaß der Verbreitung einer Nachricht heranzieht, um eine Meldung für den Faktencheck zu priorisieren.

WEITERE ANWENDUNGEN FÜR DIE ALGORITHMEN VON CURB

Das Resultat des Vergleichstests: Curb verhinderte fast ebenso gut wie Oracle die Verbreitung von Falschinformationen, die nicht als solche indiziert waren. Die drei Faustregeln vermochten dies nicht.

Trotz des Testerfolgs kann Gomez Rodriguez die Aussicht von Curb, in der Praxis umgesetzt zu werden, noch nicht einschätzen: „Ob Curb hier als Lösung am Ende infrage kommt oder lediglich Komponenten unseres Verfahrens sich als interessant für kom-

merzielle Anbieter erweisen, wird man sehen müssen“, sagt der Forscher. „Einer der Entwickler von Curb hat aber vor Kurzem im Fake-News-Team bei Facebook angeheuert.“

Ähnliche Algorithmen wie Curb lassen sich, davon abgesehen, auch auf anderen Feldern einsetzen. „Sprachlern-Software zum Beispiel könnten Verfahren wie Curb optimieren, indem sie helfen, besser zu prognostizieren, welche Inhalte den Lernenden wiederholt präsentiert werden müssen, damit sie diese im Gedächtnis behalten“, sagt Gomez Rodriguez. Ein anderes Anwendungsfeld ist das virale Marketing. Für diese Anwendung haben die Forscher das Grundgerüst von Curb ursprünglich auch entwickelt: um herauszufinden, wie Nachrichten in sozialen Medien am effektivsten verbreitet werden.

Ein Problem lässt Curb jedoch ungelöst: Was passiert, wenn Nutzer das System gezielt sabotieren, indem sie solide Nachrichten als Fake markieren oder bewusst Falschmeldungen verbreiten? Bei solch extremem Verhalten dürfte Curb schwerlich noch richtig einschätzen, wie dringend eine Meldung zum Fakten-

check muss. Um dieses Problem anzugehen, haben Gomez Rodriguez und seine Kollegen „Detective“ entwickelt.

Auch der Detective-Algorithmus dient dem Ziel, die Verbreitung von Falschinformationen zu reduzieren. Gomez Rodriguez' Team hat das Verfahren auf der Web Conference in diesem Frühjahr in Lyon präsentiert. Während Curb alle Nutzer für gleich seriös hält, versucht Detective herauszufinden, wer Fake News besonders zuverlässig beanstandet und wer solide Meldungen vorwiegend als Fake brandmarkt, um das System zu unterlaufen.

Zu diesem Zweck berücksichtigt der Algorithmus von Detective die Resultate des Faktenchecks, mit deren Hilfe er einschätzt, in welchem Maß Nutzer im Erkennen und Markieren von Fake News zuverlässig sind. „Wir beobachten eine Nutzerin oder einen Nutzer über einen gewissen Zeitraum hinweg“, erklärt Gomez Rodriguez. „Dabei übergeben wir Nachrichten, die sie oder er verfasst oder teilt, immer wieder an den Faktencheck.“

Auch Detective muss dabei einen Zielkonflikt lösen. Um die Zuverlässig-



Mit künstlicher Intelligenz gegen Fake News: Manuel Gomez Rodriguez und sein Team entwickeln unter anderem Methoden, um die Verbreitung von Falschmeldungen, die nicht als solche zu erkennen sind, effizient zu verhindern.

keit möglichst vieler Nutzer beurteilen zu können, sollten die Faktenprüfer einerseits Nachrichten, die von möglichst vielen unterschiedlichen Personen weitergeleitet wurden, validieren. Auch solche, bei denen es sich den Nutzermarkierungen zufolge wahrscheinlich nicht um Falschmeldungen handelt. So erfahren sie etwas darüber, welche Nutzer Informationen vertrauenswürdig beurteilen. Andererseits sollte die begrenzte Zeit der menschlichen Faktenchecker auch hier am besten wieder nur für Nachrichten verwendet werden, die vermutlich Fake sind. Dazu wäre es am effizientesten, einfach dem Urteil jener Nutzer zu vertrauen, die sich bereits als verlässlich erwiesen haben. Doch damit weitere Nutzer diesen Status erlangen, müssen die Verfahren des maschinellen Lernens, die bei Detective zum Einsatz kommen, das Verhalten möglichst vieler Personen kennenlernen. Eine Leistung von Detective besteht darin, mithilfe des maschinellen Lernens den optimalen Kompromiss zwischen den beiden Erfordernissen zu finden.

Wie Curb bestand auch Detective den Test mit empirischen Datensets mit Bravour. Im Experiment lieferte die Methode annähernd so gute Resultate wie ein Pseudo-Algorithmus, der das Flagging-Verhalten der Nutzer kannte. In der praktischen Anwendung dürfte Detective in Kombination mit Curb hilfreich sein für Administratoren, die mithilfe der Algorithmen den Einsatz menschlicher Faktenchecker möglichst effizient planen wollen.

Zudem könnten Administratoren auf Basis der Detective-Wertung Nutzern Informationen darüber zugänglich machen, wie verlässlich andere Personen innerhalb ihres sozialen Netzwerkes sind, wenn es um die Markierung von Nachrichten als falsch geht. „Praktisch setzt hier allerdings der Datenschutz Grenzen“, räumt Gomez Rodriguez ein. Schon dass „Freunde“ oder Follower sehen, welche Likes man setzt, sei für viele Nutzer nicht akzeptabel. „Eine Nachricht als Fake News zu markieren, kann ebenso problematisch sein, weil man

dabei oft etwas von seiner eigenen politischen Orientierung preisgibt.“ Deshalb müssten Resultate von Detective entsprechend anonymisiert werden. „Zehn Prozent der vertrauenswürdigen Personen in Deinem Netzwerk haben diese Nachricht als ‚fake‘ geflaggt: So eine Information könnte man schon einspielen“, meint Gomez Rodriguez.

POLARISIEREN NACHRICHTEN IN SOZIALEN MEDIEN?

Manche Personen als besonders vertrauenswürdig darzustellen, könnte aber auch das Gegenteil des gewünschten Effekts bewirken: Nutzer, die zu Verschwörungstheorien neigen, könnten bewusst solchen Personen folgen, die absichtlich solide Nachrichten als Fake markieren und selbst Fake News in Umlauf bringen – weil sie glauben, dass es sich hier um eine lediglich vom Mainstream unterdrückte Wahrheit handelt. Allerdings erwies sich Detective gegen eine solche vorsätzliche Verbreitung falscher Informationen als ziemlich robust – gerade weil der Algorithmus die Vertrauenswürdigkeit der Nutzer berücksichtigt.

Neben dem Bemühen, Falschnachrichten effektiv aufzudecken, beschäftigt sich das Team von Gomez Rodriguez auch mit der Frage, wie sehr Nachrichten – ob Fake oder nicht – tatsächlich zu einer Polarisierung von Meinungen in den sozialen Medien beitragen. Für die Antwort darauf haben die Forscher ebenfalls einen Algorithmus entwickelt. Dieser wertet Urteile wie etwa „Daumen hoch!“ oder „Daumen runter!“ zu Textbeiträgen wie etwa Kommentaren in Onlinediskussionen aus.

Anstelle von Meinungen zu einzelnen Fragen betrachten die Forscher dabei aber ganze Meinungssequenzen. Was damit gemeint ist, veranschaulicht Gomez Rodriguez mit diesen Aussagen: „Ich mag rote Bonbons!“; „Ich mag grüne Bonbons!“; „Bonbons sind gut, und rote Bonbons sind die besten!“ und „Bonbons sind ungesund.“ Die jeweilige Meinung hinter einem einzelnen

Paid fake protesters were bussed in to the anti-Trump protests in Austin, Texas.

Kommentar ist mit einer Software, die den Text etwa auf bestimmte Wörter analysiert und mit anderen Aussagen vergleicht, nicht zuverlässig zu ermitteln. Anders ist das mit den Meinungen, die Nutzer ausdrücken, indem sie die Kommentare in einer solchen Aussagekette durch Zustimmung oder Ablehnung bewerten. Genau diese Urteile verschiedener Nutzer analysierten die Wissenschaftler und berechneten daraus auch die Meinung, die ein einzelner Kommentar widerspiegelt.

Bei der Analyse der Meinungen, die sich sowohl in einem einzelnen Kommentar als auch in den Bewertungen einer Aussagensequenz widerspiegeln, fokussieren Gomez Rodriguez und seine Kollegen auf zwei Merkmale.

Zum einen betrachten sie den Grad von Komplexität oder die Anzahl von Achsen, anhand derer sich der Meinungsraum darstellen lässt. Ein Beispiel: Wenn alle Teilnehmer an einer Diskussion entweder die gleiche Meinung oder genau die jeweils entgegengesetzten Meinungen bezüglich einer einzelnen Fragen vertreten, lassen sich die Antworten anhand von *einer* Achse sortieren – solche Diskussionen werden also buchstäblich eindimensional geführt.

Zum anderen ermittelten die Forscher, wie weit die einzelnen Meinungen voneinander entfernt sind. Zu diesem Zweck werden die Haltungen hinter den Kommentaren, aus denen sich die Sequenz zusammensetzt, als Vektoren in einem Meinungsraum dargestellt. Den jeweiligen Vektor ermittelt der Algorithmus, indem er ausgewertet, wie andere Nutzer einen Kommentar bewerten. Die Anordnung der Vektoren gibt Aufschluss über die Diversität der Meinungen. „Wir können Textbeiträge, die sich in ihrem semantischen Inhalt stark voneinander unterscheiden, die ganz unterschiedliche Worte verwenden und die vielleicht sogar Ironie enthalten, im Meinungsraum zueinander positionieren“, betont Gomez Rodriguez.

Die Analyse eines großen Datensatzes von Onlinediskussionen auf den Seiten von Yahoo News, Yahoo Finance,




Die Fotos von zahlreichen Bussen führten fragwürdige Nachrichtenseiten als einzigen Beleg dafür an, dass bezahlte Demonstranten zu einem Protestmarsch gegen Donald Trump in Austin gebracht wurden. Die Busse waren jedoch für eine Veranstaltung in einem Kongresszentrum unterwegs, das mehrere Kilometer vom Startpunkt des Demonstrationzugs entfernt liegt. Für Zahlungen an die Teilnehmer gibt es keinerlei Beleg.

Yahoo Sports und der Yahoo Newsroom App hat ergeben: 75 Prozent der Onlinediskussionen bewegen sich auf zwei oder mehr Achsen im Meinungsraum, sie wurden also nicht polarisiert geführt. „Dies ist ein deutliches Zeichen dafür, dass die Diskussionen auf diesen Onlineseiten nicht dem Spiel vom Demagogen zum Opfer gefallen sind“, meint Manuel Gomez Rodriguez.

Der Algorithmus ermöglicht es also, Debatten in Onlineforen oder sozialen Medien zu bewerten, und wirkt mit sei-

nen bisherigen Ergebnissen dem Eindruck entgegen, dass diese in der Anonymität des Internets stets undifferenziert geführt werden und überwiegend von Demagogen polarisiert werden. Wie Curb und Detective zeigt er mit hin, dass ein hybrider Ansatz aus künstlicher Intelligenz und menschlichen Bewertungen hilft, solche Diskussionen zu versachlichen. ◀

 www.mpg.de/podcasts/digitale-gesellschaft

AUF DEN PUNKT GEBRACHT

- Ein hybrider Ansatz aus künstlicher Intelligenz und menschlichen Bewertungen kann in verschiedener Hinsicht helfen, Debatten im Internet zu versachlichen.
- Der Algorithmus Curb priorisiert, wie dringend ein Inhalt einem Faktencheck unterzogen werden muss, damit sich eine eventuelle Falschmeldung nicht unklarisiert verbreitet. Er analysiert dafür immer wieder neu, wie schnell sich eine Meldung verbreitet und wie viele Nutzer sie als Fake News markiert haben.
- Der Algorithmus Detective soll ebenfalls die Verbreitung von Falschmeldungen verhindern, berücksichtigt dabei aber, wie vertrauenswürdig die Nutzer sind, die eine Meldung als falsch markieren.
- Ein weiterer Algorithmus wertet aus, wie differenziert Diskussionen im Internet geführt werden. Demnach finden sie in 75 Prozent der Fälle nicht polarisiert statt – ein Indiz, dass sich die Nutzer mehrheitlich nicht von Demagogen leiten lassen.

Foto ohne Gesicht

Wo Informationen über uns oder gar Fotos mit unserem Konterfei auftauchen, haben wir kaum noch im Griff. Doch künftig könnte sich wenigstens verhindern lassen, dass wir als Unbeteiligte auf Fotos in anderer Leute Facebook-Auftritt erscheinen. Die Technik dafür hat ein Team um **Paarijaat Aditya, Rijurekha Sen** und **Peter Druschel** vom **Max-Planck-Institut für Softwaresysteme** in Saarbrücken entwickelt.

TEXT **TIM SCHRÖDER**

Es ist ein Kulturwandel, den wir durchmachen: Smartphones haben unser alltägliches Verhalten gründlich verändert, nicht zuletzt beim Fotografieren: Bilder schießen wir heute nicht mehr nur im Urlaub und bei Familienfesten, sondern auch beim Einkaufen, in der Kneipe oder beim Spazierengehen. Denn mit dem Smartphone hat man den Fotoapparat immer dabei. Die Qualität der eingebauten Kameras ist mittlerweile so gut, dass man kaum noch eine andere braucht. Und keine Kamera ist so schnell zur Hand wie das Handy in der Hosentasche.

Den Trend zum Handyfoto bestätigen auch die Ergebnisse des Branchenverbandes der Internetindustrie Bitkom: Sieben von zehn Deutschen schießen im Urlaub Bilder mit ihrem Smartphone – und sechs von zehn Hobbyfotografen teilen die Fotos sogleich über Facebook, Whatsapp und andere Dienste. Keine Frage, das Fotografieren mit dem Smartphone ist allgegenwärtig.

Doch genau das kann zum Problem werden, wenn nicht nur Freunde und Bekannte geknipst werden, sondern auch Unbeteiligte, die aus Versehen im Bild zu sehen sind. Viele Menschen

fühlen sich unwohl, wenn sie wissen, dass sie von Unbekannten abgelichtet werden, nicht zuletzt, weil man in Zeiten sozialer Medien nie genau weiß, wo die Bilder später auftauchen. Da wäre es beruhigend, wenn Unbeteiligte auf Fotos gar nicht zu erkennen wären.

GESICHTER UNBETEILIGTER PERSONEN WERDEN VERPIXELT

Das dachten sich auch Paarijaat Aditya und Peter Druschel vom Max-Planck-Institut für Softwaresysteme in Saarbrücken. Die beiden haben zusammen mit Kollegen vom benachbarten Max-Planck-Institut für Informatik eine Technik entwickelt, die Gesichter unbeteiligter Personen auf Bildern verpixelt und damit unkenntlich macht, die Gesichter von absichtlich fotografierten Personen aber scharf darstellt. I-Pic haben sie ihre App genannt, die dereinst als Spezialfunktion in Smartphones verbaut werden könnte.

„Was das Fotografieren angeht, sind viele Menschen heute um ihre Privatsphäre besorgt“, sagt Paarijaat Aditya. „Bevor wir mit der Entwicklung von I-Pic anfangen, haben wir eine eigene Umfrage gestartet und zum Beispiel he-

rausgefunden, dass es unter anderem sehr auf die Situation ankommt: Als besonders unangenehm empfinden es Leute zum Beispiel, wenn sie im Krankenhaus, beim Sport oder am Strand abgelichtet werden.“ Generell stellten die Forscher fest, dass verschiedene Menschen in der gleichen Situation unterschiedliche Bedürfnisse an das Recht am eigenen Bild haben, so wie auch die Ansprüche des Einzelnen sehr von der Situation abhängen. Damit war klar, dass I-Pic unbedingt in der Lage sein sollte, die Wünsche einzelner Personen je nach Situation zu berücksichtigen.

Derzeit existiert I-Pic als Prototyp. In einem Video auf Youtube zeigt Paarijaat Aditya, wie der funktioniert: Er macht ein Selfie und knipst dabei auch Menschen, die im Bildhintergrund stehen. Dann erscheint das Foto auf der Kamera – jene Personen, die nicht abgelichtet werden wollen, sind verpixelt dargestellt, die anderen sind klar zu sehen. Auf den ersten Blick wirkt I-Pic ganz simpel. Doch wer einen Moment darüber nachdenkt, dürfte stutzen: Wie in aller Welt kann die Kamera wissen, wer fotografiert werden will und wer nicht? Und schnell wird klar, dass es I-Pic in sich hat. >



Mein Bild gehört mir:
Auf Schnappschüssen
fremder Fotografen
verpixelt die Software
I-Pic die Gesichter von
Menschen, die nicht
zufällig abgelichtet
werden wollen.

» Verschiedene Menschen haben in der gleichen Situation unterschiedliche Bedürfnisse an das Recht am eigenen Bild – so wie auch die Ansprüche des Einzelnen sehr von der Situation abhängen.

„Die Leistung besteht darin, dass wir hier etliche anspruchsvolle Techniken miteinander verknüpft haben, um das ganze System zum Laufen zu bringen“, sagt Paarijaat Aditya. Voraussetzung für einen wirksamen Schutz vor ungewollten Statistenrollen auf Fotos ist, dass das Smartphone des Fotografen und die Smartphones der Umstehenden alle mit der I-Pic-Technik ausgestattet sind. Und natürlich müssen die Smartphones aller Personen, die auf einem Bild zu sehen sind, mit dem Gerät des Fotografen kommunizieren können – um mitzuteilen, ob ihre Besitzer erkennbar sein wollen oder nicht. Bei I-Pic funktioniert das über Bluetooth, einen klassischen Funkstandard, mit dem Geräte über eine Distanz von wenigen Metern Daten austauschen können.

SMARTPHONE SENDET PERSÖNLICHE PRÄFERENZ

In der Software stellt jeder Nutzer zunächst seine persönliche Präferenz ein: ob er in verschiedenen Situationen oder an verschiedenen Orten von Fremden fotografiert werden will oder nicht. Diese Information sendet jedes mit I-Pic ausgestattete Telefon permanent aus. Das Smartphone des Fotografen erhält damit über Bluetooth von allen Smartphones in der Nähe die Information, welche Person damit einverstanden ist, dass sie auf dem soeben geschossenen Foto zu erkennen ist, und welche nicht.

Natürlich erhält das Smartphone auch die Bluetooth-Signale von Personen, die nicht im Bild zu sehen sind – etwa von Unbeteiligten, die etwas abseits stehen. Das Smartphone des

Fotografen muss also zuordnen können, welches Bluetooth-Signal zu welcher Person gehört beziehungsweise ob es von den Personen stammt, die auf dem Bild zu sehen sind.

Zu diesem Zweck wird I-Pic, bevor es seinen Dienst tun kann, zunächst mit Porträtfotos des Smartphone-Besitzers gefüttert. Schon nach etwa zehn Fotos hat I-Pic das Gesicht seines Besitzers kennengelernt und die Charakteristika des Gesichts abgespeichert. Alle Handys, die mit I-Pic ausgestattet sind, senden permanent die Gesichtsinformation in die Umgebung aus – auch zum Smartphone einer Person, die in Bluetooth-Reichweite vielleicht gerade ein Foto macht. So kann das Smartphone des Fotografen die Gesichter auf dem gerade geschossenen Bild mit den Gesichtsinformationen der Menschen in der Umgebung abgleichen.

Zusätzlich mit den Gesichtsdaten erhält das Smartphone des Fotografen die Präferenzen der beteiligten Personen „Will zu erkennen sein/Will nicht zu erkennen sein“ – und kann dann die entsprechenden Gesichter unkenntlich machen.

Für die Gesichtserkennung musste das Entwicklerteam leistungsfähige Algorithmen in die Software einbauen, sogenannte Classifier, die Gesichter schnell und sicher erkennen – selbst bei schlechter Belichtung, Schatten oder Gegenlicht. Forscher um Bernt Schiele, Direktor am Max-Planck-Institut für Informatik, haben für die Erkennung eine Software entwickelt, die ausgesprochen gut funktioniert.

„Allerdings ist der Austausch persönlicher Daten wie zum Beispiel von Gesichtsinformationen zwischen Smart-

phones im Hinblick auf den Datenschutz ausgesprochen kritisch“, sagt Peter Druschel, Direktor am Max-Planck-Institut für Softwaresysteme. Deshalb haben die Forscher I-Pic zusätzlich mit anspruchsvoller Verschlüsselungstechnik ausgestattet. Alle Daten, die hin- und hergeschickt werden, wandelt I-Pic zunächst in kryptische Zeichenkombinationen um. Die Informationen zum Gesicht werden also nicht einfach als jpg-Bild oder in einem ähnlichen Format übertragen. Vielmehr verschlüsselt I-Pic die zahlreichen Charakteristika eines Gesichtes in einem sogenannten hochdimensionalen Vektor.

ABGLEICH ZWISCHEN VERSCHLÜSSELTEN DATEN

Dann gleicht I-Pic die Gesichter im Foto mit den Gesichtsinformationen ab, die das Smartphone des Fotografen per Bluetooth empfangen hat. Der Clou: Der Abgleich findet zwischen den verschlüsselten Dateien statt. Die Bildinformationen liegen also zu keiner Zeit offen. „Das klingt eigenartig, aber tatsächlich ist es möglich, zwei verschlüsselte Dateien miteinander zu verarbeiten“, sagt Rijurekha Sen, ebenfalls Forscherin am Max-Planck-Institut für Softwaresysteme. „Wir nennen das eine homomorphe Verschlüsselung. Man kann damit feststellen, ob zwei Bilder gleich sind, ohne die Bilder als solche preisgeben zu müssen.“

Das Smartphone eines Fotografen speichert folglich niemals die realen Bilddaten einer Person, wenn diese ihre Präferenz auf „nicht erkennbar“ eingestellt hat. Weder wird das Gesicht im gerade geschossenen Foto als solches dar-



gestellt, noch sind die Bildinformationen auslesbar, die von den anderen Handys via Bluetooth übertragen wurden. Und das Gesicht im geschossenen Bild ist bereits verpixelt, wenn das Foto erstmals auf dem Handy-Bildschirm erscheint.

Doch Bluetooth, Gesichtserkennung und Verschlüsselungstechnik sind noch nicht alles. Denn bei der Entwicklung von I-Pic standen die Forscher vor einem weiteren Problem: Bei einer Verschlüsselung werden Daten stets mithilfe sehr komplexer Rechenverfahren sicher verpackt. Diese Kalkulationen benötigen sehr viel Arbeitsspeicher und sind wahre Stromfresser. An Orten, an denen viel fotografiert wird, wären viele I-Pic-Bildberechnungen nötig, sodass schnell der Akku eines Handys leer gesaugt wäre oder der Prozessor überfordert.

Die Forscher haben I-Pic deshalb mit einer Technik ausgestattet, welche die Verschlüsselung und den Abgleich der Bildpaare via Mobilfunkverbindung in eine Cloud, ein weltweites Netz von Rechnern, auslagert. Die Berechnung der verschlüsselten Daten findet damit irgendwo auf einem großen Server statt, der das Ergebnis der Analyse „Will im Foto erscheinen/Will nicht im Foto erscheinen“ zurück ans Smartphone schickt.

„Trotz der ganzen Komplexität funktioniert I-Pic-erstaunlich gut“, sagt Paarijaat Aditya, der I-Pic bereits auf internationalen Informatikkonferenzen vorgestellt hat und dafür viel Lob erntete. Peter Druschel ergänzt: „Wir sind weltweit die Ersten, die eine solche Applikation angedacht haben und trotz der Fülle an Techniken realisieren konnten. Und wir denken bereits über Erweiterungen nach.“ >

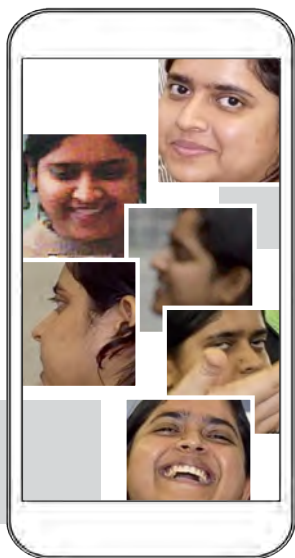


Wenn die Personen, die auf einem Foto abgelichtet werden, auf ihrem Smartphone die I-Pic-App installiert haben, gleicht diese mit dem Gerät des Fotografen Gesichtsinformationen und die Datenschutzpräferenzen der Abgebildeten ab. Wer nicht zu erkennen sein möchte, wird auf dem Bild unscharf dargestellt.





Verhelfen dem eigenen Bild zu seinem Recht: Paarijaat Aditya und Peter Druschel haben aus technisch anspruchsvollen Komponenten die App I-Pic entwickelt (oben). Zentral ist dabei die Technik, die eine Person auch dann erkennt, wenn sie aus ganz verschiedenen Perspektiven, teils verdeckt und mit schlechter Belichtung fotografiert wird (unten).




Ganz konkret geht es um die Frage, wie man Gesichter auf Bildern ästhetisch verfremden kann. Immerhin sehen Bilder mit verpixelten Gesichtern nicht besonders ansprechend aus. Peter Druschel möchte I-Pic aus diesem Grund um ein Softwaremodul ergänzen, das Gesichter verändern kann, sie altern lässt oder die Haut- und die Haarfarbe sowie andere Charakteristika gezielt manipuliert: „Auf dem Foto sind fremde Gesichter dann nicht mehr grob gepixelt. Stattdessen sind Menschen zu sehen, die es so in der Realität überhaupt nicht gibt.“

Und noch etwas ist zu bedenken: Die Präferenzen sollten sich in I-Pic detailliert einstellen lassen. Wer als Standard „Will nie auf Bildern Fremder erscheinen“ wählt, könnte Pech haben. Zum Beispiel, wenn auf großen Familienfeiern fotografiert wird. Dann wären Fotos vielleicht sogar willkommen, doch wäre die Person auf den Bildern stets verpixelte. Die Saarbrücker entwickeln daher ein Set von Präferenzen, zwischen denen der Nutzer künftig wählen soll.

Eine Möglichkeit könnte sein, zum Beispiel den Kontakten im Telefonbuch des Handys zu erlauben, das Gesicht auf Fotos kenntlich zu machen. Auch sollen sich künftig die Präferenzen für verschiedene Orte festlegen lassen. Für das Büro oder das Fitnessstudio könnten Nutzer den Unkenntlichkeitsmodus wählen, für alle anderen Orte hingegen die unverpixelte Darstellung des eigenen Bildes zulassen.

Möglicherweise lässt sich die Technik von I-Pic auch auf vergleichbare Anwendungen übertragen, auf Videos etwa. „I-Pic ist jedenfalls so weit, dass es in Kürze bis zur Marktreife weiterentwickelt werden kann“, sagt Peter Druschel. „Es wäre zu wünschen, dass die Technik von Smartphone-Herstellern übernommen und standardmäßig in Handys verbaut wird – in Sachen Privatheit und Datensicherheit wäre damit viel gewonnen.“

 www.mpg.de/podcasts/digitale-gesellschaft

AUF DEN PUNKT GEBRACHT

- Seit Smartphones mit leistungsfähigen Kameras ausgerüstet sind und Menschen immer mehr fotografieren, steigt das Risiko, dass Unbeteiligte abgelichtet und ihre Bilder ungewollt zum Beispiel über soziale Medien verbreitet werden.
- Die Software I-Pic könnte sicherstellen, dass nur Personen auf Fotos zu erkennen sind, die dazu ihr Einverständnis gegeben haben. Gesichter von Menschen, die nicht dargestellt werden möchten, würden dann verpixelte oder verfremdet.
- Um das Recht am eigenen Bild zu garantieren, kombiniert I-Pic verschiedene Techniken, wie etwa eine Gesichtserkennung auf Basis künstlicher Intelligenz sowie die Verschlüsselung und den Abgleich von Bilddaten in der Cloud.

MAX PLANCK SCHOOLS

Obtain your PhD in a highly innovative,
interdisciplinary and international environment.

PASSION FOR SCIENCE

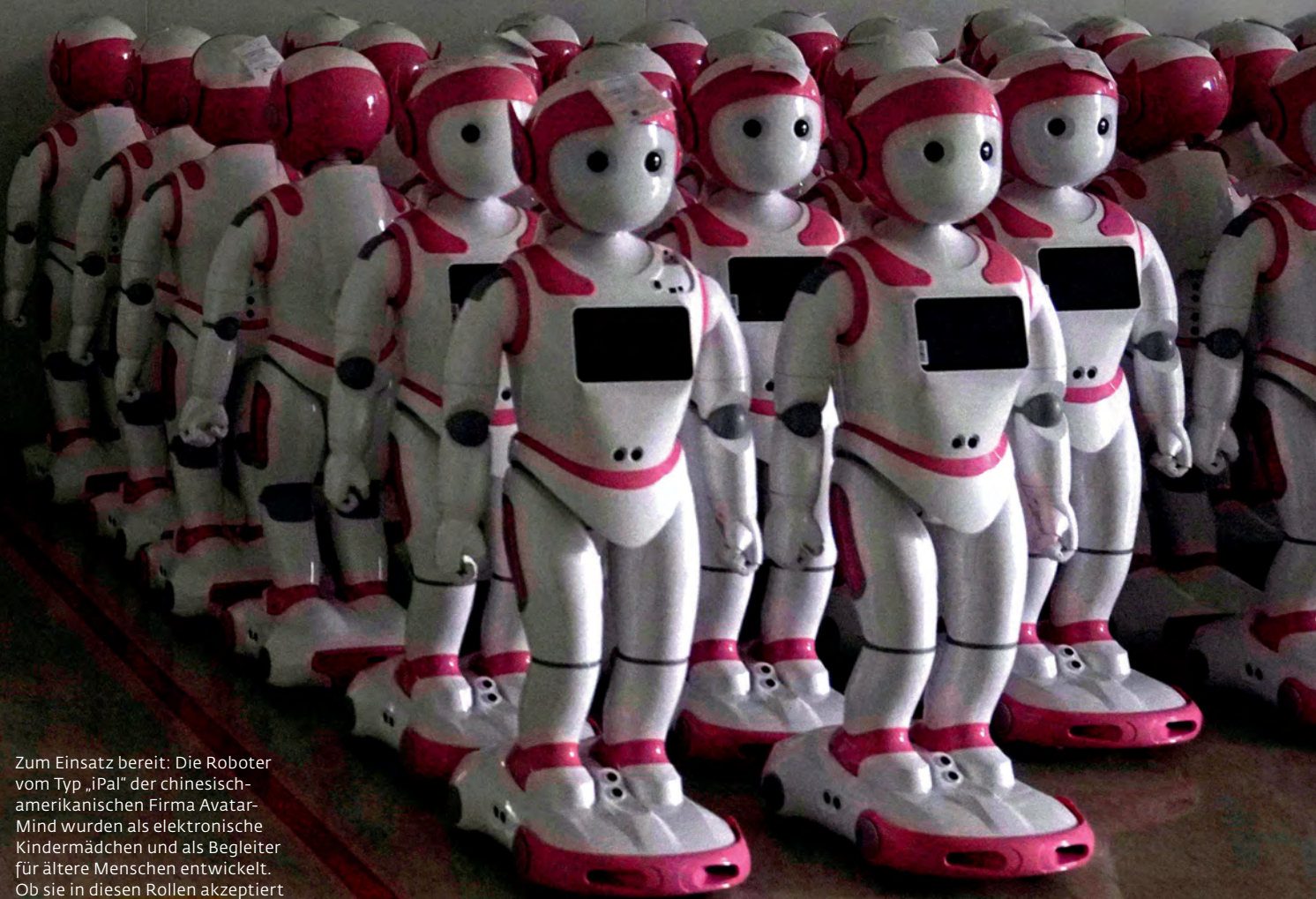
maxplanckschools.de

Max Planck School of Cognition | Max Planck School of Photonics
Max Planck School Matter to Life



Regeln für Roboter

Künstliche Intelligenz gewinnt an Bedeutung und rückt immer näher, auch buchstäblich: Pflegeroboter könnten demnächst bei uns zu Hause einziehen. Wie sie sich dabei verhalten sollen, ist noch nicht verhandelt. **Am Max-Planck-Institut für Innovation und Wettbewerb** in München beschäftigt sich **Axel Walz** mit der Frage, wie man mit rechtlichen Mitteln dazu beitragen kann, dass künstliche Intelligenz sich an menschliche Werte hält.



Zum Einsatz bereit: Die Roboter vom Typ „iPal“ der chinesisch-amerikanischen Firma Avatar-Mind wurden als elektronische Kindermädchen und als Begleiter für ältere Menschen entwickelt. Ob sie in diesen Rollen akzeptiert werden, muss sich zeigen.

TEXT SARAH MÜHLBERGER

Sie bringen das Essen und erinnern an die Medikamenteneinnahme, sie helfen beim Duschen und schlagen die Bettdecke zurück. Manche von ihnen erzählen Witze, andere singen oder spielen Memory. Sie heißen Pepper, Justin, Riba oder Garmi – und sind möglicherweise die Zukunft in deutschen Pflegeheimen: die Roboter, die landauf, landab getestet werden.

DER SMARTE KÜHLSCHRANK BESTELLT KOSCHERES ESSEN

Noch weiß niemand, ob sie das Pflegesystem tatsächlich eines Tages deutlich entlasten können – schließlich fehlen bereits heute mehr als 36 000 Pflegekräfte –, gleichzeitig ist das eine der harmloseren Fragen. Wem gehorcht der Pflegeroboter in letzter Konsequenz? Wird er den Patienten entmündigen, oder haben doch die individuellen Vorstellungen des Menschen Vorrang? Wie kann sichergestellt werden, dass Pflegeroboter nicht gehackt werden? Schließlich verfügen sie über die sensibelsten aller personenbezogenen Daten, wissen über Gesundheit und Gewohnheiten eines Pflegebedürftigen Bescheid.

Solche Fragen müssen dringend geklärt werden, findet Axel Walz, Senior Research Fellow am Max-Planck-Institut für Innovation und Wettbewerb. Als

Jurist hat ihn schon immer die Frage angetrieben, welche Folgen Innovationen für die Verbraucher haben. „In einer Zeit, in der künstliche Intelligenz und autonome Systeme an Bedeutung gewinnen, beschäftigt mich vor allem, wie man als Rechtswissenschaftler dazu beitragen kann, dass künstliche Intelligenz sich an ethische Maßgaben hält.“

„Ethik“ ist dabei ein komplexer Begriff, der vieles meint: individuelle Wertvorstellungen, religiöse Normen, gesetzlich verankerte Werte bis hin zum Schutz der Menschenwürde. „Es geht um das Prinzip der ethischen Pluralität“, sagt Walz.

Deswegen brauche es einen ganzen Maßnahmenmix: Man müsse auf der Grundlage eines abgestuften Regulierungsmodells denken und bei jedem Anwendungsfall genau prüfen, inwieweit das Recht durch Regulierung oder durch andere Anreize dazu beitragen kann, dass ethische Aspekte gewahrt werden. Für den Schutz menschlichen Lebens und menschlicher Würde sei zwingend die Gesetzgebung verantwortlich. Bestehende Gesetze müssten überprüft und gegebenenfalls an die Besonderheiten künstlicher Intelligenz angepasst werden. „Und wenn ich bei einem technologischen Produkt besondere, individuelle Maßstäbe setzen möchte, dann ist ein Vertrag zwischen zwei Partnern das idealtypische Regu-

lierungsinstrument. Darin kann ich einen strikten Bedingungskatalog nach meinen Vorstellungen definieren.“

Um sicherzustellen, dass technische Produkte besondere Rücksicht auf die Werte einer bestimmten Personengruppe nehmen – hier denkt Walz etwa an Religionsgemeinschaften –, seien Zertifikate eine gute Lösung. So wäre für jüdische Verbraucher sichergestellt, dass ihr smarter Kühlschrank nur Lebensmittel aus koscheren Supermärkten bestellt, und für muslimische Patienten, dass ihnen der Roboter nur Medikamente reicht, die halal sind.

ZERTIFIKATE KÖNNTEN VOM TÜV GEPRÜFT WERDEN

Überprüft werden könnten solche Zertifikatslösungen beispielsweise durch Einrichtungen wie den TÜV, „wie es teilweise schon heute passiert, etwa bei Datenschutzstandards“, erklärt Walz. Spürbare Haftungsfolgen wären zudem eine Möglichkeit, die Hersteller zu disziplinieren, sollten ihre Systeme gehackt werden.

Axel Walz spricht für seine Forschung mit Entwicklern neuer Technologien und mit potenziellen Anwendern. Im nächsten Schritt schaut er sich die geltende gesetzliche Rechtslage an. „Und vor diesem Hintergrund versuchen wir dann eine Art Risikobewer-



Links Mit Kuschelfaktor: Bei der japanischen Therapierobbe „Paro“ sorgen elektronische Sensoren dafür, dass sie den Kopf bewegen und auf Streicheln mit wohligen Lauten reagieren kann. Japan gilt als Vorreiter in der Entwicklung von Robotern für die Pflege.

Rechte Seite Mit Bärenstärke: Auch „Robear“ wurde in Japan konstruiert und soll gebrechlichen Menschen helfen, aus dem Bett aufzustehen oder auf die Toilette zu gehen.

„Was sind die Vorteile einer neuen Technologie, und welche möglicherweise negativen Auswirkungen stehen dem gegenüber?“ Vor diesem Hintergrund lässt sich dann beurteilen, ob Regulierungsbedarf besteht.

Am Beispiel Pflegeroboter zeige sich besonders eindrücklich, wie wichtig eine Diskussion über ethische Werte ist – schließlich kommt eine derartige Technologie dem Menschen besonders nahe und betrifft ihn in seinem Intimbereich. So mancher versucht bereits jetzt, sich mit einer speziellen Patientenverfügung gegen den Einsatz von pflegenden Robotern zu wehren.

Noch sind diese jedoch Zukunftsmusik, zumindest wenn man sie sich als intelligente Helfer vorstellt, die eine Pflegekraft weitgehend ersetzen können. Testweise eingesetzt werden robotisierte Assistenzsysteme, die jeweils nur einzelne Funktionen übernehmen können: zum Beispiel Menschen mit Handicap beim Kochen, Putzen oder Einkaufen helfen oder Pflegekräfte beim Heben und Duschen von Patienten unterstützen.

„Grundsätzlich machen die Aufgaben, die derzeit von robotischen Systeme-

men übernommen werden könnten, nur einen sehr kleinen Teil des Pflegeprozesses aus“, sagt Patrick Jahn, Leiter der Pflegeforschung am Universitätsklinikum Halle. „Sie würden im Alltag noch nicht zu der Art Entlastung für die Pflegenden führen, die allgemein erwartet wird.“ Die meisten Modelle haben bislang ausschließlich Projektcharakter; von der Markteinführung sind sie weit entfernt.

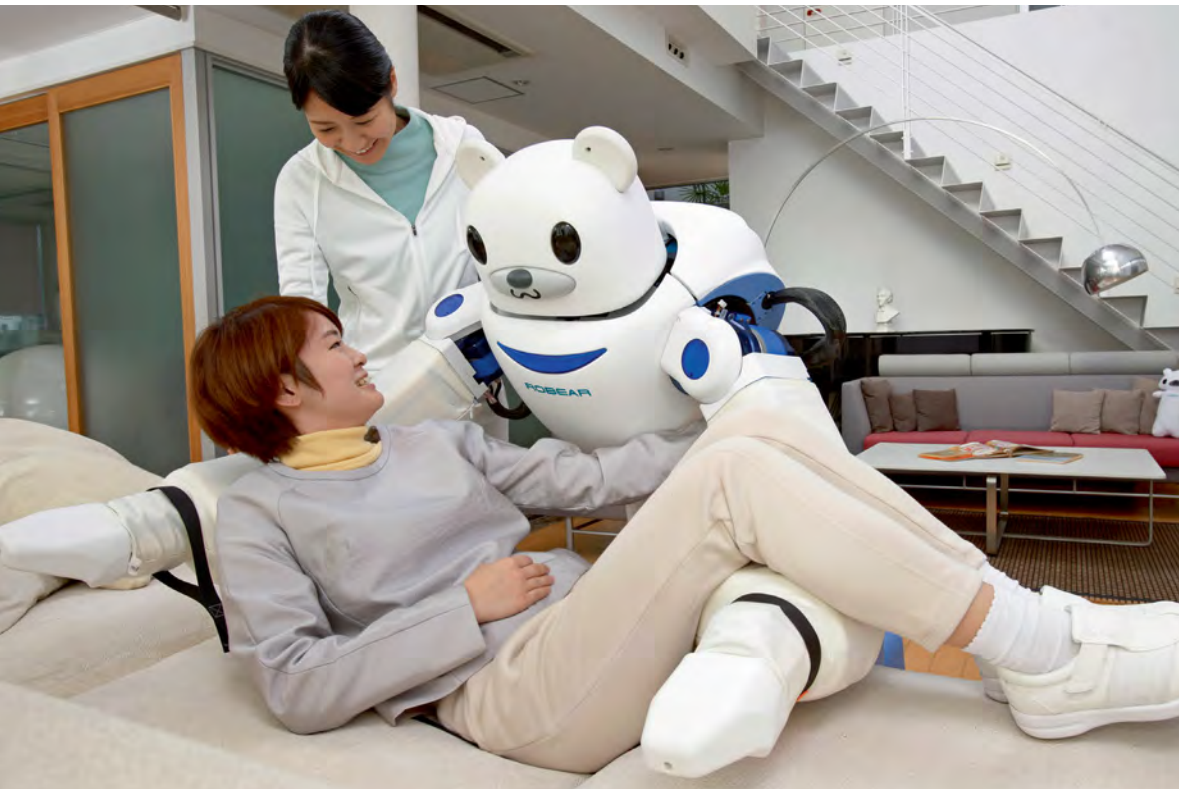
BISHER DIENEN ROBOTER VOR ALLEM ZUR UNTERHALTUNG

Am weitesten entwickelt sind laut Jahn momentan die humanoiden Roboter, die auf Kommunikation, Unterhaltung und Information spezialisiert sind. In Nordrhein-Westfalen spielen „Robbie“ und „Paula“ mit den Bewohnern eines Pflegeheims Spiele oder fordern sie zu Gymnastikübungen auf. Andernorts wird „Paro“, eine Roboterrobbe, die auf Streicheln reagiert, in der Pflege dementer Patienten eingesetzt. Und in Garmisch-Partenkirchen ziehen noch in diesem Jahr die Pflegeroboter „Justin“ und „Edan“ in ein Seniorenheim, um den Bewohnern Getränke oder Me-

dikamente zu reichen, um ihnen die Bettdecke zurückzuschlagen und den Aufzugsknopf zu drücken, aber auch um Alarm auszulösen, wenn ein Pflegebedürftiger stürzt.

In Halle suchen und entwickeln Pflegewissenschaftler, Mediziner und Informatiker im Rahmen des FORMAT-Projekts nach Einsatzszenarien für robotische Systeme, die schon heute einen Mehrwert bieten können. Schließlich sei auch ein Roboter, der ältere Menschen „nur“ unterhält, eine Hilfe für Pflegekräfte, wenn angespannte oder aggressive Patienten dadurch entspannter werden, sagt FORMAT-Projektleiter Patrick Jahn.

Ein Beispiel ist „Pepper“: Die 1,20 Meter große Figur mit schwarzen Kulleraugen und Monitor vor der Brust ist derzeit im Einsatz, um Patienten in einem informativen Gespräch auf eine MRT-Untersuchung vorzubereiten. Auf diese Weise sparen Ärzte und Pflegekräfte Zeit. Auf dem heutigen Stand der Technologie wäre es auch möglich, dass der Roboter Pflegebedürftige über ihre Untersuchungstermine informiert und Angehörige zum Zimmer eines Patienten bringt, also ein Einsatz als ro-



» Wenn wir das Gefühl haben, Dinge sind so komplex, dass wir sie nicht verstehen, haben wir die Tendenz, ihnen blind Glauben zu schenken.

botische Stationshilfe. Beide Aufgaben sind in Workshops mit Pflegekräften entstanden. „Solche Einsatzszenarien sind auch deswegen wichtig, weil es an konkreten und überzeugenden Anwendungsbeispielen bisher mangelt“, sagt Jahn.

Noch gibt es viele Einschränkungen, das System läuft noch nicht stabil. Eine zu laute Umgebung kann die Kommunikation stören, weil „Pepper“ dann nicht mehr gut genug versteht, was sein menschliches Gegenüber sagt. Und auch das dynamische Umfeld eines Krankenhauses bringt den Roboter durcheinander, etwa wenn plötzlich Betten auf dem Flur einer Station stehen, die dort am Vortag nicht standen – schon ist „Peppers“ Orientierung überfordert.

FORMAT arbeite nach dem „Bertha-Benz-Prinzip“, erzählt Patrick Jahn: Die Automobilpionierin habe auch nicht gewartet, bis das neue Fortbewegungs-

mittel irgendwann mit 100 Stundenkilometern und ohne Probleme fahren konnte, sondern legte irgendwann einfach los. Bereits bei ihrer ersten Überlandfahrt entdeckte Benz weitere wichtige Voraussetzungen, etwa die Bedeutung von Tankstellen; erst mit ihrem Praxistest verhalf sie der neuen Technik zum Durchbruch.

ALGORITHMEN SIND KEINESWEGS IMMER OBJEKTIV

Dieser Ansatz lasse sich gut auf den Einsatz robotischer Systeme in der Pflegehilfe übertragen, findet Jahn: „Auch wenn wir noch weit weg sind von der Vision, die alle im Kopf haben – dem intelligenten Helfer, der die Pflegekräfte deutlich entlastet –, müssen wir mit den Einschränkungen arbeiten, um die schnelle Integration in die Praxis zu schaffen. Sonst kommt die Entwicklungsdynamik nicht in Gang.“

Axel Walz findet, dass Deutschland an der Entwicklung künstlicher Intelligenz beteiligt sein sollte. „Gleichzeitig müssen wir dafür Sorge tragen, dass wir eine qualitativ nachhaltige, hochwertige Intelligenz entwickeln, die den entsprechenden ethischen Kriterien genügt.“ Die normative Zielrichtung müsse seiner Ansicht nach eine humane Gesellschaft sein, die zu ihren etablierten Werten steht und die Technik dafür nutzt, diese Werte weiterhin zu unterstützen – und sie keinesfalls zu entmenschlichen.

Walz wünscht sich eine offene Debatte, in der auch diskutiert wird, „ob und wo möglicherweise rote Linien verlaufen. Also: Inwieweit darf ich bestimmte Produkte überhaupt mit künstlicher Intelligenz ausstatten?“ Dass solche Fragen bislang kaum breiter diskutiert werden, liegt laut Walz auch an der Technikgläubigkeit des Menschen. „Wenn wir das Gefühl haben, Dinge

» Künstliche Intelligenz entwickelt sich selbst weiter – das macht sie zu einer Blackbox. Es sollte nachvollziehbar bleiben, warum ein bestimmtes Ergebnis erzeugt wird.

sind so komplex, dass wir sie nicht verstehen, dann haben wir psychologisch die Tendenz, ihnen blind Glauben zu schenken und sie über die eigene Entscheidungskompetenz zu stellen. Wir sind in dieser Hinsicht zu wenig selbstbewusst und halten Algorithmen für objektiver und neutraler als Menschen.“ Tatsächlich sei das Gegenteil der Fall, „denn Algorithmen werden mit Daten trainiert, und die Auswahl dieser Daten wird von der Voreingenommenheit des Programmierers geprägt“, erklärt Walz.

PFLEGEKRÄFTE SPERRTEN ROBOTER IN EINEN SCHRANK

Bei künstlicher Intelligenz komme erschwerend das Blackbox-Phänomen hinzu. Ein traditioneller Algorithmus funktioniert, indem man Daten hineingibt und am Ende ein Ergebnis herauskommt, typischerweise nach einem klassischen Wenn-dann-Prinzip. Anders ist es bei künstlicher Intelligenz: Diese Algorithmen sind lernfähig, können also Informationen aufnehmen, auswerten und daraus Schlussfolgerungen ziehen. So können sie gewissermaßen qua eigener Erfahrung lernen. „Der Algorithmus ist also nicht statisch, sondern entwickelt sich selbst weiter. Was aber dabei genau passiert und warum, das ist offenbar nicht einmal den Programmierern selbst klar“, fasst Axel Walz zusammen.

Eine mögliche Antwort darauf könnte der Ansatz des weltweiten Inge-

nieursverbands IEEE sein, der eine weltweite Initiative für ethische Überlegungen bei der Entwicklung autonomer Systeme ins Leben gerufen hat. Neben theoretischer Grundlagenarbeit sollen dabei auch konkrete ethische Technologiestandards ausgearbeitet werden. Ein Ziel ist etwa ein sogenannter Transparenzstandard. „Er soll sicherstellen, dass Algorithmen für künstliche Intelligenz so programmiert werden, dass man jederzeit nachvollziehen kann, welche Daten verwendet worden sind und warum ein bestimmtes Ergebnis erzeugt worden ist“, erklärt Axel Walz, der sich regelmäßig mit der IEEE-Initiative austauscht.

Auch der Faktor Mensch ist bislang alles andere als hinreichend erforscht. Was macht es mit Arbeitnehmern, neben oder mit Robotern zu arbeiten?

Mit den Auswirkungen auf Pflegekräfte beschäftigt sich das interdisziplinäre Projekt „Orient“, welches durch die EU-Initiative „More years, better lives“ gefördert wird und an dem neben Innovationsforschern aus Finnland und Pflegewissenschaftlern aus Schweden Wirtschaftswissenschaftler aus Paderborn beteiligt sind. „Wir untersuchen, welche Voraussetzungen geschaffen werden müssen, damit Assistenzsysteme in der Pflege eingesetzt und akzeptiert werden“, erläutert Kirsten Thommes, Professorin für Organizational Behavior an der Universität Paderborn.

In Zukunft müsse viel stärker auf die Bedürfnisse und Ansprüche derjenigen

eingegangen werden, die direkt vom Einsatz der robotischen Systeme betroffen sind: der Pflegekräfte und der Pflegebedürftigen also. „Bislang ist die Robotik sehr ingenieurlastig“, sagt Kirsten Thommes. Die Paderborner Wissenschaftler schauen auf die Bedürfnisse und Einstellungen der Pflegekräfte: Was müssen diese im Vorfeld über die Roboter wissen, was nicht? Müssen sich Ausbildungsinhalte verändern, künftige Pflegerinnen womöglich programmieren lernen? An welchen Stellen können Roboter entlasten? Wo gibt es mögliche Reibungspunkte? Ein Assistenzsystem, das der Pflegekraft entgegen ihrer Routine sagt, zu welchem Patienten sie zuerst gehen soll, greift schließlich sehr deutlich in deren Kompetenzbereich ein. Außerdem, dies zeigten Einzelfallstudien aus Japan, wo Pflegekräfte die Roboter ausschalteten oder in einen Schrank sperrten, kann die permanente Aufzeichnung durch die Systeme leicht zu einem Gefühl der Überwachungs führen.

„Es gibt noch keine Studien dazu, wie die durchschnittliche Pflegekraft auf die Assistenzsysteme blickt und welche Bedenken dabei verbreitet sind“, sagt Thommes. In der Bevölkerung generell gebe es aber eine gewisse Sorge vor dem Einsatz von Robotern. Eine Umfrage zeigte, dass mehr als 70 Prozent der Deutschen an den „Terminator“ denken, wenn man sie nach ihrer Assoziation zum Stichwort Roboter befragt – die von Arnold



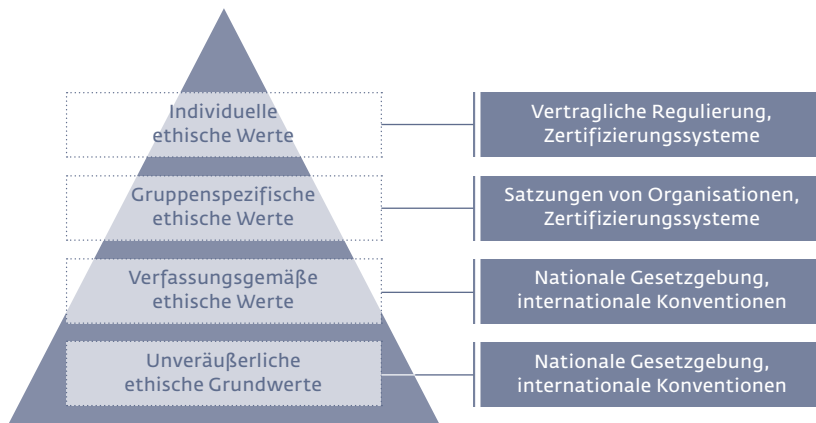
Schwarzenegger verkörperte Maschine menschlichen Aussehens aus dem gleichnamigen Film von 1984. „Ein solch negatives Image verringert natürlich die Bereitschaft, sich ernsthaft mit dem Gedanken auseinanderzusetzen, dass robotische Systeme irgendwann eine große Hilfe und Entlastung sein könnten“, sagt Kirsten Thommes. „Nicht nur, aber eben auch mit Blick auf den Pflegenotstand.“

EIN MITTELWEG ZWISCHEN AUTONOMIE UND HILFE

Wie Roboter und andere Technologien in Zukunft im Alltag helfen können, wird auch an der Berliner Charité erforscht. Die Arbeitsgruppe „Alter und Technik“ versteht sich dabei als Schnittstelle zwischen Zielgruppe und Technik, zwischen Pflegebedürftigen und Herstellern, erläutert Anika Steinert, die die Arbeitsgruppe leitet: „Wir übersetzen die jeweiligen Anforderungen und prüfen bei Evaluationen, was der Mehrwert einer Technologie ist, wie sie angenommen wird und wie sie sich anwenden lässt.“ >

Bei der Hand: Der Roboterarm „Robina“ lässt sich mit Gesten, mit Sprache oder mit den Augen steuern. Er ist für Patienten mit ALS konzipiert, die kognitiv völlig klar sind, aber an Muskelschwund leiden. Der Arm kann den Betroffenen Getränke reichen oder ihnen juckende Stellen kratzen.





Links Juristisch fundiert: Ethische und rechtliche Anforderungen an Roboter, etwa im Pflegebereich, reichen von allgemeinen Grundsätzen wie den Menschenrechten bis zu individuellen Bedürfnissen, etwa aufgrund religiöser Vorschriften. Sie müssen daher auf unterschiedlichen Ebenen geregelt werden.

Rechte Seite Eng vernetzt: Der Jurist Axel Walz tauscht sich regelmäßig mit Entwicklern und Ingenieuren aus, um ethische Standards in die Praxis einzubringen.

Im Projekt „Robina“ wird gerade ein Roboterarm für ALS-Patienten konzipiert, die kognitiv völlig klar sind, aber an Muskelschwund leiden. Als es im Vorfeld darum ging zu definieren, wobei der Arm unterstützen sollte, hatten die teilnehmenden Patienten eher bescheidene Wünsche. „Mal kratzen“, zum Beispiel, kleinste Tätigkeiten, bei denen die ALS-Patienten am liebsten nicht jedes Mal um Hilfe rufen möchten.

Vor der Entwicklung stehen dann erst einmal viele Fragen: Wie soll dieser Arm aussehen? Soll er mobil sein oder irgendwo fest installiert? Wie soll er gesteuert werden, welches Design und welche Haptik soll er haben? Aber auch ethisch-rechtliche Fragen, „denn schon Kratzen ist eine sehr komplexe Anforderung“, erklärt Anika Steinert. Wie kann die Sicherheit von Patienten und Personal gewährleistet werden, wenn der Arm einem ja per Aufgabe sehr nahe kommen muss? Was soll der Arm dürfen, was nicht? Darf er speichern, wie oft er gekratzt hat? Wie oft er Wasser gereicht hat? Und soll er von sich aus aktiv werden und ein Glas reichen, wenn ein Patient drei Stunden lang nichts getrunken hat? Oder nur reagieren, wenn er angesprochen oder gesteu-

ert wird? „Es geht immer darum, einen guten Mittelweg zwischen dem Autonomiebedürfnis der Patienten und der Hilfestellung durch die Technologie zu finden“, sagt Steinert.

DAS INTERESSE AN ETHISCHEN STANDARDS WÄCHST

Bedenken habe es im Vorfeld nur wenige gegeben, „ALS-Patienten sind ja gewohnt, in ihrem Alltag auf Hilfsmittel angewiesen zu sein“. Zwar seien sie typischerweise deutlich jünger als Geriatriepatienten. „Aber die Ergebnisse des Projekts lassen sich auf viele Zielgruppen anwenden.“ Oft sind es im Projekt die Pflegekräfte, die Sorgen formulieren, etwa weil sie aus ihrer Perspektive manchen Sicherheitsaspekt stärker gewichten. Bei der Zusammenarbeit mit den Herstellern stellen die Berliner Wissenschaftler oft fest, wie wenig Gespür es für ethische Aspekte rund um die Produkte gibt. Immerhin: „In den vergangenen Jahren hat das Thema deutlich an Bedeutung gewonnen“, sagt Anika Steinert, „solche Fragestellungen werden viel seltener belächelt als früher.“ Das liege auch am verstärkten Interesse, das die Politik an

ethischen Standards für künstliche Intelligenz zeigt.

Axel Walz vom Max-Planck-Institut für Innovation und Wettbewerb sieht in diesen Standards eine wichtige mögliche Stellschraube auf dem Weg zu einer menschlichen digitalen Gesellschaft, die an etablierten humanen Grundwerten orientiert ist. „Ein ganz simpler Ansatzpunkt, um schon zu Beginn der Entwicklung einer neuen Technologie Einfluss zu nehmen, ist es, nur solche Projekte zu fördern, die mit dem entsprechenden Ethikkatalog übereinstimmen.“

Dem Juristen ist es wichtig zu betonen, dass es nicht darum gehe, Innovation durch Regulierung zu hemmen, im Gegenteil: „Regulierungsinstrumente können dabei helfen, die Ängste und Sorgen in der Bevölkerung ernst zu nehmen und sogar abzubauen, wenn unsere bestehenden Standards auf neue Technologien übertragen werden. „Wir befinden uns mitten in einer massiven Revolution und müssen die Gesellschaft bei solch tief greifenden technologischen Entwicklungen mitnehmen.“

Walz selbst sieht beispielsweise keine Rechtfertigung für androide Roboter, das heißt solche Roboter, die möglichst menschliche Züge aufwei-




» Es gibt keine Rechtfertigung für Roboter mit möglichst menschlichen Zügen. Sie gefährden die Singularität menschlichen Lebens.

sen. Zwar beziehe sich das Klonierungsverbot primär auf die biologische Reproduktion. „Sinn und Zweck des Verbots ist es aber, die Singularität menschlichen Lebens zu schützen. Und die sehe ich genauso bedroht, wenn jemand eine biomechanische Kopie erstellt.“ Die damit einhergehende Objektivierung des Menschen würde klar gegen Artikel 1 des Grundgesetzes verstoßen.

Auch und insbesondere im Pflegebereich gebe es keinen Grund für den Einsatz androider Roboter, findet Walz. Pflegeroboter sollen menschliche Arbeitskräfte nicht ersetzen, sondern bestenfalls unterstützen. „Als Unterstützung im Pflegealltag, insbesondere im Rahmen wiederkehrender, mechanischer Tätigkeiten bieten Roboter eine große Chance mit Blick auf das Problem fehlender Fachkräfte, und dies bei gleichzeitiger Verbesserung der Pflegequalität.“ Dies setze allerdings voraus, die Roboter in Pflegeheimen so einzu-

setzen, dass das Personal dort mehr Zeit für persönliche Zuwendung hat, um sich in menschlicher Hinsicht besser um die Pflegebedürftigen kümmern zu können. „Es wäre eine menschliche Kapitulationserklärung, wenn wir eines Tages tatsächlich versuchen würden, Zuneigung und Empathie über Roboter

zu transportieren“, sagt Axel Walz. „Die Achtung der menschlichen Würde sollte daher als oberstes Leitprinzip die Entwicklung und den Einsatz von Pflegerobotern prägen.“

 www.mpg.de/podcasts/digitale-gesellschaft

AUF DEN PUNKT GEBRACHT

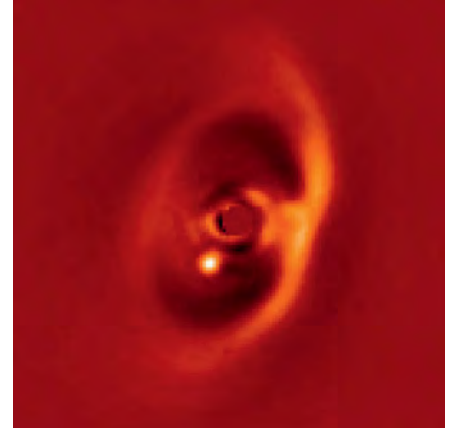
- Bereits bei der Entwicklung von Pflegerobotern sollten rechtliche und ethische Aspekte berücksichtigt werden, um den Bedürfnissen von Patienten und von Pflegekräften gerecht zu werden.
- Pflegebedürftige müssen sicher sein, dass nicht mehr Daten als unbedingt nötig erfasst werden und diese geschützt sind. Zudem dürfen Roboter die Patienten nicht bevormunden.
- Auch die Pflegenden müssen vor Überwachung geschützt werden; der Einsatz robotischer Systeme sollte sich auf wiederkehrende mechanische Tätigkeiten beschränken.
- Ein rechtlicher Rahmen könnte helfen, die Akzeptanz für den Einsatz von Pflegerobotern zu stärken.

Geburt eines Planeten

Detailreiche Aufnahme zeigt den jungen Himmelskörper PDS 70b inmitten einer zirkumstellaren Scheibe

Die Forscher kennen bisher mehr als 3800 Exoplaneten, die um fremde Sonnen kreisen. Jetzt haben sie einen extrem jungen Vertreter dieser Klasse entdeckt: Das Objekt PDS 70b befindet sich in der Gas- und Staubscheibe um seinen Mutterstern PDS 70 – und damit in der Umgebung seiner Geburt. So bietet der Planet die einzigartige Gelegenheit, Entstehungsmodelle von Planeten zu testen und etwas über die frühe Geschichte unseres Sonnensystems zu erfahren. Nachgespürt hat dem rund 370 Lichtjahre entfernten Himmelskörper ein Team um die Doktorandin Miriam Keppler vom Max-Planck-Institut für Astronomie mit einem Instrument am Very Large Telescope in Chile. Die Bilder zeigen in der zirkumstellaren Scheibe des Sterns PDS 70

eine ausgedehnte Lücke: Vermutlich sammelt der junge Riesenplanet immer noch Materie auf und räumt im Laufe der Zeit eine größere Zone frei, während er seinen Mutterstern in 120 Jahren einmal umläuft. PDS 70b hat mehrere Jupitermassen, ist von Wolken umgeben und knapp 1000 Grad Celsius heiß. Zudem bestätigt die Distanz von 22 Astronomischen Einheiten (entsprechend der 22-fachen Entfernung der Erde von der Sonne) die Theorie, wonach sich Gasplaneten wie Jupiter in vergleichsweise großem Abstand von ihrem Zentralstern bilden. (www.mpg.de/12131014)



Kosmische Geburt: Das Bild zeigt die protoplanetare Scheibe um den Stern PDS 70, aufgenommen am Very Large Telescope. Der junge Exoplanet PDS 70b ist deutlich als heller Fleck am inneren Rand der Lücke (dunkler Bereich) zu erkennen. Das Licht des Zentralsterns wurde ausgeblendet.

Neutrino aus einer fernen Galaxie

MAGIC-Teleskope spüren den Ursprungsort eines Teilchens auf, das offenbar vom schwarzen Loch eines Blazars stammt

Astrophysikern, unter anderem des Max-Planck-Instituts für Physik, ist es erstmals gelungen, die Quelle eines hochenergetischen kosmischen Neutrinos zu orten. Mit großer Wahrscheinlichkeit entstammt es einem Blazar, einem ak-

tiven schwarzen Loch im Zentrum einer fernen Galaxie im Sternbild Orion. Neutrinos lassen sich schwer nachweisen. So fängt der weltweit größte Detektor namens IceCube am Südpol pro Tag nur etwa 200 dieser Partikel ein, die meisten von der Sonne. Am 22. September 2017 geriet ein besonderes Neutrino in die Fänge von IceCube: Seine sehr hohe Energie von ungefähr 290 Teraelektronenvolt deutete darauf hin, dass es aus einer fernen Quelle zu uns kam. Den Wissenschaftlern gelang es außerdem, die genaue Flugrichtung zu bestimmen. Danach stammt das Teilchen aus dem etwa 4,5 Milliarden Lichtjahre entfernten Blazar TXS 0506+056. Das Objekt sendet zudem Gammastrahlung aus, und diese liegt nach Beobachtungen der beiden MAGIC-Teleskope auf der Kanareninsel La Palma im sehr hohen Energiebereich von mindestens 400 Gigaelektronenvolt. Das ist ebenfalls ein Hinweis darauf, dass das von IceCube eingefangene Neutrino tatsächlich dem Blazar entsprang. (www.mpg.de/12127177)



Augen fürs All: Die beiden MAGIC-Teleskope lieferten wertvolle Informationen über die Quelle eines energiereichen Neutrinos. Dieses entstammt wohl dem fernen Blazar TXS 0506+056.

Charakter im Blick

Ein neues Computersystem erkennt mithilfe künstlicher Intelligenz Persönlichkeitsmerkmale eines Menschen an seinen Augenbewegungen

Computer lernen allmählich, menschliches Verhalten zu interpretieren – jetzt auch indem sie die Blicke von Menschen deuten. Ein Team um Forscher des Max-Planck-Instituts für Informatik hat eine Software entwickelt, die mithilfe künstlicher Intelligenz an den Augenbewegungen einer Person Charaktermerkmale erkennt. Die Technik analysiert, wie neurotisch, verträglich, extrovertiert und gewissenhaft die Probanden sind. Diese vier Faktoren dienen Psychologen wesentlich dazu, die Persönlichkeit eines Menschen zu erfassen. Zusätzlich ermittelt die Software, wie neugierig eine Person ist. Auch Menschen schließen oft unbewusst aus den Blicken anderer auf deren Charakter. Die Charakterstudien der Software der Saarbrücker Forscher sind für praktische Anwendungen derzeit zwar noch nicht treffsicher genug. Mit umfangreicheren Trainingsdaten dürfte sie jedoch deutlich genauer werden und könnte dann helfen, die Zusammenarbeit zwischen Mensch und Computer sozialer, effizienter und flexibler zu gestalten. (www.mpg.de/12167231)

Selbstheilende Samenkapseln

Bei Pflanzen der australischen Gattung *Banksia* verschließen spezielle Wachse kleine Risse in der Fruchtwand

Manche australischen Pflanzen brauchen bei der Fortpflanzung viel Geduld – und ihre Samenkapseln die Fähigkeit, sich selbst zu reparieren. Bis zu zwei Jahrzehnte bleiben die Samen einiger Arten von *Banksien* in ihren zweiseitigen hölzernen Behältern, ehe sie bei Buschbränden freigegeben werden. Bei *Banksien* handelt es sich um eine Gattung immergrüner Pflanzen, die nur in Australien vorkommen. Einige ihrer Arten stellen durch den feurigen Öffnungsmechanismus sicher, dass die Samen optimale Bedingungen zum Keimen vorfinden. Damit die Samen trotz wechselnder Witterungseinflüsse während der langen Zeit vorher heil bleiben, verhindert möglicherweise ein Selbstheilungsmechanismus dauerhafte Schäden an den Samen. Wie Forscher des Max-Planck-Instituts für Kolloid- und Grenzflächenforschung in Potsdam-Golm vermuten, könnten Wachse an der Naht der beiden Kapselhälften diesem Zweck dienen. Ihren Untersuchungen zufolge spielen die Wachse keine Rolle, wenn sich die Kapseln öffnen. Sie schmelzen aber bei 45 bis 55 Grad Celsius, die in manchen Gegenden Australiens im Sommer erreicht werden. Die Forscher nehmen daher an, dass sie kleine Risse in den Kapseln kitten. (www.mpg.de/12108346)

Foto: MPI f. Evolutionsbiologie/ M. Schwarz

Eizelle sucht Spermium

Weibliche Keimzellen bevorzugen Samenzellen mit anderen Immungenen

Durch die Wahl eines besonders geeigneten Partners können Tiere den zukünftigen Erfolg ihrer Nachkommen erhöhen. Bei einigen Arten geht der Auswahlprozess offenbar selbst nach dem Geschlechtsakt weiter: Forscher des Max-Planck-Instituts für Evolutionsbiologie in Plön haben herausgefunden, dass die Eizellen eines Stichlings mitbestimmen, von welchem Spermium sie sich befruchten lassen. Offenbar entscheiden sie anhand von Immungenen der Spermien – dem Major Histocompatibility Complex (MHC). Ein aus vielen unterschiedlichen Genvarianten bestehender Komplex führt dabei zu einem schlagkräftigen Immunsystem. Für einen variantenreichen Genkomplex muss eine Eizelle folglich mit einem Spermium verschmelzen, das komplementäre Genvarianten besitzt. Und tatsächlich zeigen die Experimente der Forscher, dass jene Spermien die höchste Befruchtungschance haben, deren MHC sich von dem der Eizelle unterscheidet. Wie das Ei die Spermien auswählt, wissen die Forscher noch nicht. Da die Auswahl der richtigen Immungene in der Evolution des Menschen eine wichtige Rolle gespielt hat, könnten auch menschliche Eizellen an der Auswahl ihrer Befruchtungspartner beteiligt sein. (www.mpg.de/12299006)

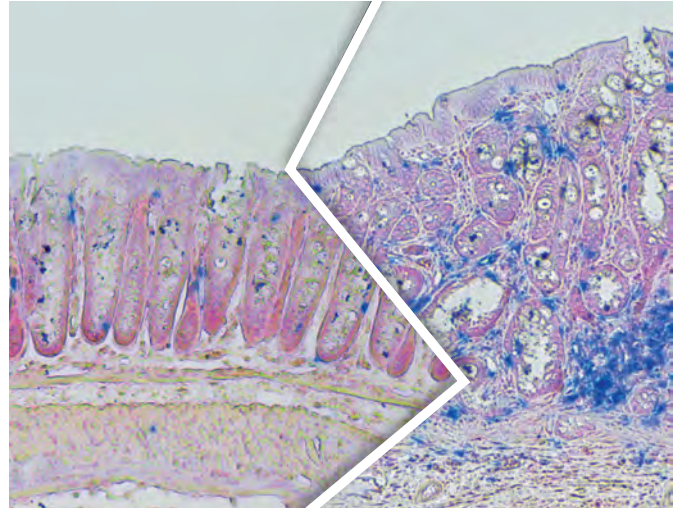


Bei Stichlingen wählen die Weibchen ihre Paarungspartner sorgfältig aus (im Bild ein Männchen in Balzfärbung). Eine Stichlingdame kann jedoch nicht sicherstellen, dass ihre Nachkommen die besten Immungene erhalten, denn jedes Spermium enthält nur eine der beiden Genvarianten eines Fisches. Daher haben die Eizellen einen Weg gefunden, selbst ein zu ihnen passendes Spermium auszusuchen.

Fettgewebe macht Stress

Forscher klären Zusammenhang zwischen Übergewicht und Darmkrebs auf

Übergewichtige Menschen haben ein erhöhtes Risiko, an Darmkrebs zu erkranken. Wissenschaftlern des Max-Planck-Instituts für Stoffwechselforschung in Köln zufolge könnte dies unter anderem an einer Stressreaktion im Fettgewebe liegen, wenn der Körper immer mehr überschüssiges Fett speichern muss. Anhaltendes Übergewicht versetzt so den Körper in Dauerstress. Dies alarmiert die körpereigene Immunabwehr, die im Fettgewebe und schlussendlich im gesamten Körper eine Entzündung auslöst. In der Folge werden die Immunzellen so umprogrammiert, dass sie im Körper immer wieder entstehende Krebszellen nicht mehr bekämpfen, vielmehr fördern sie deren Überleben und unterstützen so das Wachstum von Tumoren. Die Forscher haben zudem an Mäusen mögliche neue Behandlungsansätze getestet: Sie haben einen Teil der Immunzellen eliminiert sowie das Erbgut der Tiere so verändert, dass Immunzellen trotz fettreicher Ernährung nicht mehr umprogrammiert werden können. In beiden Fällen schwächt sich die Entzündung im Fettgewebe der Mäuse ab, und das Immunsystem bekämpft die Krebszellen wieder. (www.mpg.de/12133165)



Dickdarmgewebe aus schlanken (links) und übergewichtigen Mäusen (rechts). Bei Letzteren gibt es mehr Immunzellen (blau) und Tumore.

Frühe Zahnmedizin für Pferde

Bereits vor mehr als 3000 Jahren entfernten mongolische Hirten jungen Tieren problematische Zähne

Mitglieder einer mongolischen Hirtenkultur aus der Zeit von 1300 bis 700 vor Christus waren vermutlich die ersten Menschen, die Pferde zahnmedizinisch behandelten. Zu

diesem Ergebnis kommt ein internationales Forschungsteam um William Taylor vom Max-Planck-Institut für Menschheitsgeschichte in Jena. Die Wissenschaftler unter-

suchten Schädelreste aus fast 30 archäologischen Stätten dieser Kultur. Dabei zeigte sich, dass die Hirten um 1150 vor Christus damit begannen, jungen Tieren schmerzhafte Zähne zu entfernen. Die Zahnheilkunde für Pferde entstand offenbar parallel mit der Einführung von Bronze- und Eisentrensen, die den Menschen eine nuancierte Beherrschung der Pferde als Reittiere erlaubten. Die Verwendung dieser Mundstücke verursachte aber Schmerzen an den sogenannten Wolfszähnen, verkümmerten Zähnen, die im Gebiss mancher Pferde angelegt sind. Deswegen entwickelten die Hirten eine Methode, diese problematischen Zähne zu entfernen – ähnlich wie es Tierärzte heute tun. Die Behandlungsmöglichkeit war indirekt eine Voraussetzung dafür, dass Reitervölker ab dem ersten Jahrtausend vor Christus neue Gebiete Eurasiens besiedeln konnten. (www.mpg.de/12116858)



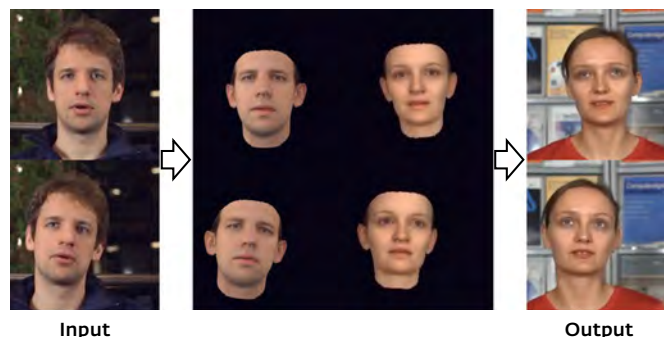
Auf den Zahn gefühlt: Ein gesundes Gebiss bei Pferden ist wichtig, damit das Mundstück des Zaumzeugs keine Schmerzen verursacht.

Marionettenspiel mit der Mimik

Eine neue Software passt den Gesichtsausdruck von Personen in Videos an eine über den Film gelegte Übersetzung an

Filme zu synchronisieren, könnte künftig deutlich einfacher werden. Ein Softwarepaket, das ein Team um Forscher des Max-Planck-Instituts für Informatik in Saarbrücken entwickelt hat, kann die Mundbewegungen sowie den kompletten Gesichtsausdruck von Schauspielern an die Übersetzung eines Films anpassen. Der gesprochene Text muss also nicht mehr mit dem Bild in Einklang gebracht werden. Um die Mimik eines Akteurs mit dem Ton zu synchronisieren, verwenden die Forscher ein 3D-Modell des Gesichts und Verfahren der künstlichen Intelligenz, mit denen die Software realistische Gesichtsbewegungen des Schauspielers zu dem gesprochenen Text ermittelt. Die Technik dürfte in Zukunft die Kosten und den Zeitaufwand der Filmindustrie für die Synchronisation von Filmen erheblich senken. Sie kann zudem den Eindruck einer natürlichen Gesprächssituation in Videokonferenzen verstärken. Die Teilnehmer solcher Besprechungen gucken meist auf ihren eigenen Bildschirm und nicht in die Kamera, was die Software korrigieren kann. Angesichts der Möglichkeiten, Videomaterial mit der Technik auch missbräuchlich zu bearbeiten, forschen die Wissenschaftler an Me-

thoden, die solche Veränderungen in Filmen automatisch erkennen, und sie plädieren dafür, bearbeitetes Material mit einem Wasserzeichen zu kennzeichnen. (www.mpg.de/12211428)



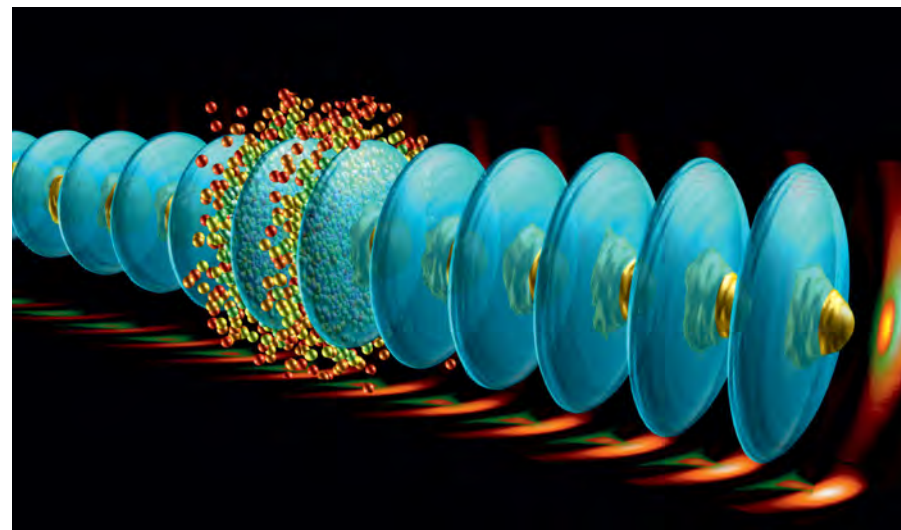
Der Gesichtsausdruck einschließlich der Lippenbewegungen sowie die Blickrichtung und die Kopfhaltung einer Person (Input) lassen sich mithilfe der *Deep-Video-Portraits*-Technik, die mit 3D-Gesichtsmodellen arbeitet (Mitte), auf eine andere Person übertragen (Output).

Elektronen auf der Plasmawelle

Der erste erfolgreiche Test eines neuartigen Konzepts für Teilchenbeschleuniger der Zukunft

Physikern könnte sich bald eine neue Tür zu den Geheimnissen des Universums öffnen. Der internationalen AWAKE-Kooperation, an der Wissen-

schaftler des Max-Planck-Instituts für Physik beteiligt sind, ist ein Durchbruch auf dem Weg zu einer neuen Art von Teilchenbeschleunigern gelungen.



Die Forscher haben erstmals Elektronen beschleunigt, indem sie diese auf einer Plasmawelle – einer Welle aus positiv geladenen Atomen und negativ geladenen Elektronen – surfen ließen. Sie gehen davon aus, dass die Teilchen in künftigen Beschleunigern, die nach diesem Prinzip funktionieren, bereits auf einem Meter so viel Energie gewinnen wie etwa am Large Hadron Collider am Genfer CERN erst nach 50 Metern. So könnten Physiker die Teilchen mit wesentlich höheren Energien zusammenprallen lassen als bislang – und aus den Spuren der Kollisionen neue Erkenntnisse zum Urknall und zum Aufbau der Materie gewinnen. (www.mpg.de/12238155)

Surfende Teilchen: Im AWAKE-Experiment bilden Protonen (kegelförmige Strukturen) eine Plasmawelle (ovale Strukturen), die Elektronen (kleine Kugeln) auf hohe Energien beschleunigen.

Im Schwerefeld des schwarzen Lochs

Astronomen gelingt Test von Einsteins allgemeiner Relativitätstheorie im galaktischen Zentrum

Das schwarze Loch mitten in der Milchstraße ist ein ideales kosmisches Labor für allerlei physikalische Tests. Denn sein extrem starkes Schwerefeld beeinflusst die Umgebung und wirkt sich auf die in der Nähe vorbeiziehenden Sterne aus. Dabei haben Wissenschaftler

des Max-Planck-Instituts für extraterrestrische Physik nun einen Effekt registriert, den Albert Einstein in seiner allgemeinen Relativitätstheorie vor mehr als 100 Jahren vorhergesagt hat. Zur Beobachtung des galaktischen Zentrums nutzten die Forscher alle vier Spiegel

des Very Large Telescope in Chile. Sie richteten ihr Augenmerk auf einen Stern namens S2 und verfolgten ihn auf seiner Umlaufbahn um das schwarze Loch. Im Mai 2018 kam S2 diesem Massemonster mit einem Abstand von ungefähr 14 Milliarden Kilometern besonders nahe. Der Stern bewegte sich dabei mit einem Tempo von mehr als 25 Millionen Kilometern pro Stunde. Die Messungen zeigten deutlich einen Effekt, der als Gravitations-Rotverschiebung bezeichnet wird: Das Licht des Sterns S2 wurde durch das enorm starke Gravitationsfeld des schwarzen Lochs zu längeren Wellenlängen hin verschoben und erschien deshalb rötlich. Diese Änderung der Wellenlänge stimmte genau mit Einsteins Prognose überein. (www.mpg.de/12141873)

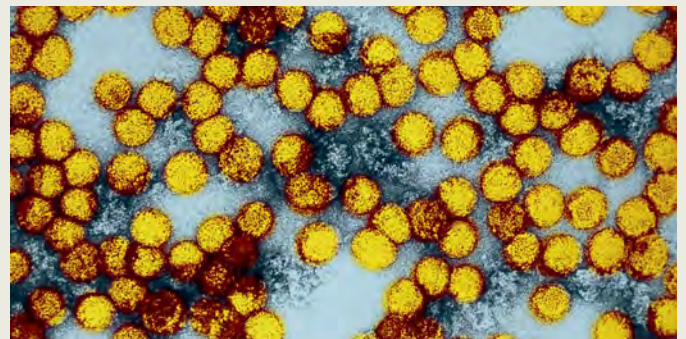


Relativistischer Farbwechsel: Die Illustration zeigt den Stern S2 beim Vorübergang am schwarzen Loch im galaktischen Zentrum. Deutlich zu sehen ist die durch das extrem starke Schwerefeld verursachte Gravitations-Rotverschiebung.

Impfstoffe ohne Ei

Einige Flaviviren lassen sich künftig hoch konzentriert in Bioreaktoren vermehren

Impfstoffe gegen einige lebensbedrohliche Infektionen könnten künftig besser verfügbar werden. Ein Team um Forscher des Max-Planck-Instituts für Dynamik komplexer technischer Systeme in Magdeburg hat nun Gelbfieber- und Zikaviren, wie sie für Lebendimpfstoffe verwendet werden, in Bioreaktoren mit Kulturen von Entenzellen erzeugt. Durch die Kombination verschiedener Ansätze erreichten sie höhere Konzentrationen, als bislang mit jedem anderen Verfahren möglich waren. So optimierten sie die Viren darauf, sich in den Entenzellen besonders gut zu vermehren. Zudem verwendeten sie sogenannte Perforationsreaktoren, die eine effiziente Versorgung der Wirtszellen mit frischer Nährlösung ermöglichen. Schließlich kontrollierten sie ständig die Zellkonzentration und passten die Zufuhr des Nährmediums daran. Derzeit werden für die Herstellung von Impfstoffen jährlich etwa eine halbe Milliarde Hühnereier benötigt, was immer wieder zu Engpässen führt, weil sich diese Art der Produktion nicht flexibel steigern lässt. Die Magdeburger



Gelbfieber-Viren unter einem Elektronenmikroskop.

Forscher untersuchen nun, ob sich mit ihrer Methode auch andere Viren wie etwa der Grippeerreger vermehren lassen. (www.mpg.de/12290418)

Papageien denken ökonomisch

Wenn die Vögel eine größere Belohnung erwarten, verzichten sie auf den unmittelbaren Vorteil



Manchmal lohnt es sich zu warten – zum Beispiel bei einer Wahl zwischen einer sofortigen kleinen und einer späteren großen Belohnung. Papageien haben dies offenbar verstanden: Nach dem Motto „Lieber die Taube auf dem Dach als den Spatz in der Hand“ können sie lernen, wann sie lieber auf eine höhere Belohnung warten sollten. Forscherinnen des Max-Planck-Instituts für Ornithologie in Seewiesen haben Papageien beigebracht, Spielmarken gegen Futter einzutauschen. Unterschiedliche Marken repräsentierten da-

Ein afrikanischer Graupapagei vor der Entscheidung „Futter oder Spielmarke“. Der Vogel wählt in der Regel die Marke, wenn er diese später gegen höherwertiges Futter eintauschen kann.

bei Getreide- und Sonnenblumenkörnern sowie Walnüsse – für die Vögel Futter von niedrigem, mittlerem und hohem Wert. Die Papageien sollten nun zwischen einer sofortigen Belohnung und einer Spielmarke wählen, die sie später gegen hochwertigeres Futter eintauschen konnten. Die Ergebnisse zeigen, dass die Papageien meist nur dann auf sofortige Belohnung verzichteten und sich für eine Spielmarke entschieden, wenn deren Wert einem höherwertigen Futter entsprach als die sofortige Belohnung. Papageien können folglich überlegt entscheiden und ihren Gewinn maximieren. Die Vögel schneiden dabei vergleichbar gut ab wie Schimpansen in ähnlichen Versuchen. (www.mpg.de/12222408)

Unsere weitverzweigten afrikanischen Wurzeln

Vielfältig in Gestalt und Kultur lebten unsere Vorfahren über ganz Afrika verstreut

Dass der moderne Mensch seinen Ursprung in Afrika hat, ist allgemein anerkannt. Lange ging man davon aus, dass die frühen Vorfahren von *Homo sapiens* eine einzige, relativ große Bevölkerungsgruppe waren. Eine internationale Studie unter der Leitung von Eleanor Scerri, Forscherin an der Universität Oxford und am Max-Planck-Institut für Menschheitsgeschichte in Jena, stellt diese Sichtweise infrage. Demnach weisen schon Steinwerkzeuge und andere Artefakte darauf hin, dass in verschiedenen Regionen unabhängig voneinander eine ähnliche kulturelle Entwicklung stattfand. Menschliche Fossilien zeigen zudem an mehreren Orten und zu unterschiedlichen Zeiten eine komplexe Mischung aus archaischen und modernen Merkmalen. Auch genetische Befunde stützen dieses Bild. Als Ursache dafür sehen die Forscher klimatische Veränderungen und daraus resultierend einen Wandel der bewohnbaren Zonen. Wie eine detaillierte Rekonstruktion von Afrikas Klimazonen und Lebensräumen über die vergangenen 300 000 Jahre nahelegt, haben die einzelnen Gruppen von Menschen viele Phasen der Isolation durchlebt. Das dürfte zu entsprechender lokaler Anpassung geführt haben, zur Entwicklung eigener Kulturen und jeweils spezieller biologischer Merkmale. Darauf folgten wohl wiederum Perioden genetischer und kultureller Vermischung. (www.mpg.de/12128324)



Menschheitsgeschichte im Puzzle: Fundstücke, Fossilien, genetische Daten und Wissen über Lebensräume ergeben ein neues Bild von der menschlichen Entwicklung.

Rendezvous in der Steinzeit

Unterschiedliche Menschenformen haben sich häufiger miteinander vermischt als bislang angenommen



Bis vor etwa 40000 Jahren lebten zwei Menschenformen in Eurasien: Neandertaler im Westen und Denisovaner im Osten. Zusammen mit den Neandertalern sind die ebenfalls ausgestorbenen Denisova-Menschen die nächsten Verwandten heute lebender Menschen. Die beiden Frühmenschen-Gruppen sind sich wahrscheinlich nicht oft begegnet, aber wenn sie aufeinandergetroffen sind, müssen sie relativ häufig Kinder miteinander gezeugt haben. Anders ist es nicht zu erklären, dass unter den wenigen Frühmenschen, die Forscher bis jetzt untersucht haben, ein direkter Nachkomme einer Verbindung zwischen Neandertaler und Denisova-

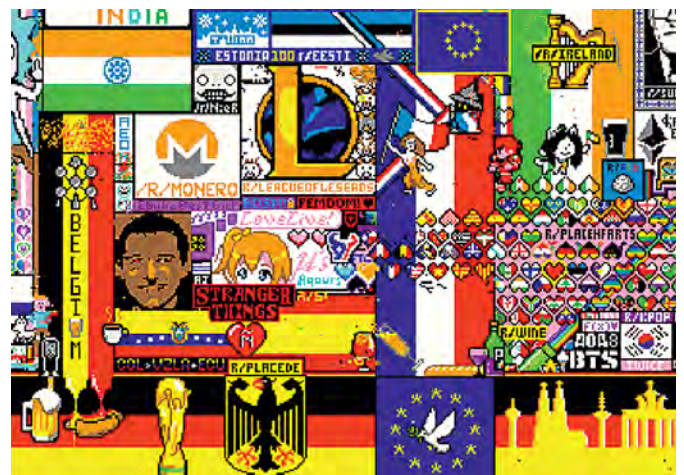
ner ist: Forscher am Max-Planck-Institut für evolutionäre Anthropologie in Leipzig haben das Erbgut einer vorge-schichtlichen Frau analysiert und entdeckt, dass ihre Mutter eine Neandertalerin und ihr Vater ein Denisovaner gewesen ist. Die Verbindung war nicht die erste ihrer Art, denn auch der Vater der Frau hatte mindestens einen Neandertaler als Vorfahren. Die Analysen ergaben zudem, dass die Mutter näher mit in Westeuropa lebenden Neandertalern verwandt war als mit Neandertalern aus der Denisova-Höhle. Die Neandertaler müssen also vor ihrem Verschwinden zwischen West- und Osteurasien gewandert sein. (www.mpg.de/12205753)

Nur wenige Zentimeter groß ist das 2012 in der Denisova-Höhle in Russland gefundene Knochenstück. Es stammt von einer Frau, deren Eltern unterschiedlichen Menschenformen angehörten.

Kunst zwischen Konkurrenz und Kooperation

Ein Onlineprojekt zeigt Parallelen zur Dynamik kultureller Entwicklung

Wissenschaftler des Max-Planck-Instituts für Menschheitsgeschichte in Jena haben ein Kunstprojekt der beliebten Internetplattform Reddit genutzt, um zu untersuchen, wie sich Kultur entwickelt. Reddit hatte für drei Tage eine digitale Leinwand eröffnet, auf der jeder Nutzer in einer gewissen Zeitspanne nur ein einziges Pixel platzieren konnte. Mehr als eine Million User beteiligten sich. Die Leinwand füllte sich schnell. Daher mussten kleine Gruppen lernen, zusammenzuarbeiten oder rivalisierende Teams zu verdrängen, um ein Element wie etwa die Flagge des eigenen Heimatlandes in dem Bild unterzubringen. Für Thomas Müller und James Winters vom Jenaer Institut bot das Projekt die Chance, die Dynamik kultureller Veränderungen nachzuvollziehen. Auffallend war, dass die Elemente in ihrer Existenz zunehmend voneinander abhängig wurden – besonders als der Platz knapp wurde. Die Beobachtungen bestätigen die Sichtweise, dass kultureller Wandel einer ähnlichen Logik folgt wie biologische Anpassung: Der Erfolg von Individuen zeigt sich in der geschickten Verteidigung ihrer Territorien, aber letztlich ist Kooperation der Schlüssel zu nachhaltigem Erfolg. (www.mpg.de/12250914)



Gemeinschaftswerk: Ausschnitt aus der 1000 mal 1000 Pixel großen Leinwand am Ende des Kunstprojekts auf Reddit. Max-Planck-Forscher nutzten die Aktion, um Mechanismen kultureller Entwicklung nachzuvollziehen.

Gottes Recht? Im Wandel!

Bei einem Forschungsteam, das islamische Familien- und Erbrechtsordnungen vergleicht, drohte das Aus. Die Stiftung hat am Max-Planck-Institut für ausländisches und internationales Privatrecht eine Finanzlücke überbrückt und Nadjma Yassari kann weiter einen wichtigen Forschungsbeitrag leisten, um den Geltungsbereich des wandelbaren islamischen Rechts in Deutschland besser aufzuzeigen.



ANZEIGE

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



MAX PLANCK FÖRDERSTIFTUNG
FOUNDATION

www.maxplanckfoundation.org

Max-Planck-Förderstiftung
Deutsche Bank

IBAN DE46 7007 0010 0195 3306 00

Sonderlinge im Sonnensystem

Kleine Körper auf Umlaufbahnen um die Sonne sind entweder Kometen oder Asteroiden – so stand es lange in den Lehrbüchern. Am **Max-Planck-Institut für Sonnensystemforschung** in Göttingen erforscht **Jessica Agarwal** „aktive Asteroiden“, das sind Kleinkörper, die so recht in keine klassische Schublade passen.

TEXT **THORSTEN DAMBECK**

Wer in der Adventszeit zwischen dem 4. und dem 14. Dezember den Blick zum Nachthimmel richtet, kann auf ein Geschenk besonderer Art hoffen: Sternschnuppen. Verlängert man die Lichtspuren der Meteore zurück, so scheinen sie aus den Zwillingen zu strömen, sie heißen deshalb nach dem lateinischen Namen des Sternbilds Geminiden. Es handelt sich dabei um winzige kosmische Staubkörnerchen, und immer im Advent ist die Erde genau an der richtigen Stelle, sodass der Staub in der irdischen Lufthülle verglühen kann. Dabei sorgt er für die huschenden Lichter, die einen geheimen Wunsch erfüllen sollen, so der Volksglaube.

Astronomen sehen das nüchterner. Sie haben die Quelle des Staubs bereits länger ausgemacht. Es ist Phaethon, ein seit 1983 bekannter Asteroid, der die Sonne auf einer lang gestreckten Ellipse umläuft. Sein Abstand schwankt dabei sehr stark, alle 1,4 Jahre nähert er sich

ihr auf 0,14 Astronomische Einheiten (AE), entsprechend einer Distanz von rund 20 Millionen Kilometern. Dann wird es auf dem nur fünf Kilometer großen Körper mehr als 700 Grad Celsius heiß. Und der Strahlungsdruck des intensiven Sonnenlichts kann die winzigen Staubpartikel auf der Oberfläche ins All katapultieren.

DIE MEISTEN ASTEROIDEN KREISEN IM HAUPTGÜRTEL

„Es ist sehr ungewöhnlich, dass ein Asteroid die Quelle für einen Meteorstrom ist“, sagt Jessica Agarwal vom Max-Planck-Institut für Sonnensystemforschung. „Normalerweise stammen Meteorströme von Kometen.“ Diese sind seit der Antike bekannt, sie können in Sonnennähe teils imposante Schweife aus Gas und Staub ausprägen. Dann sind die spektakulären Ereignisse am Nachthimmel auch Tagesgespräch in der Öffentlichkeit. Der Staub, den Kometen ins All entlassen, wird durch su-

blimierendes Eis mitgerissen und ist die Ursache der periodischen Meteorströme. So jedenfalls steht es seit Langem in den Lehrbüchern.

Phaethon ist anders: Er gibt zwar auch Staub ab, bewerkstelligt dies jedoch eisfrei. Asteroiden kennt man erst seit rund 200 Jahren, das erste Exemplar war Ceres. Sie war lange Zeit ihr größter Vertreter, heute gilt sie als Zwergplanet (Kasten auf Seite 51). Mittlerweile sind diese Objekte zu Hunderttausenden katalogisiert, die meisten umrunden die Sonne im sogenannten Hauptgürtel, von den Astronomen *main belt* genannt. Dieser liegt zwischen den beiden großen Planeten Mars und Jupiter.

Asteroiden und Kometen – Jessica Agarwal kennt sich in beiden Welten

Optische Täuschung! Diese Reihe von Aufnahmen des Weltraumteleskops *Hubble* zeigt, dass der Asteroid 288P aus zwei Teilen besteht, die umeinander kreisen. Außerdem weist der Himmelskörper die wichtigsten Charakteristika eines Kometen auf – eine Koma, welche die beiden Kerne einhüllt, sowie einen Staubschweif.

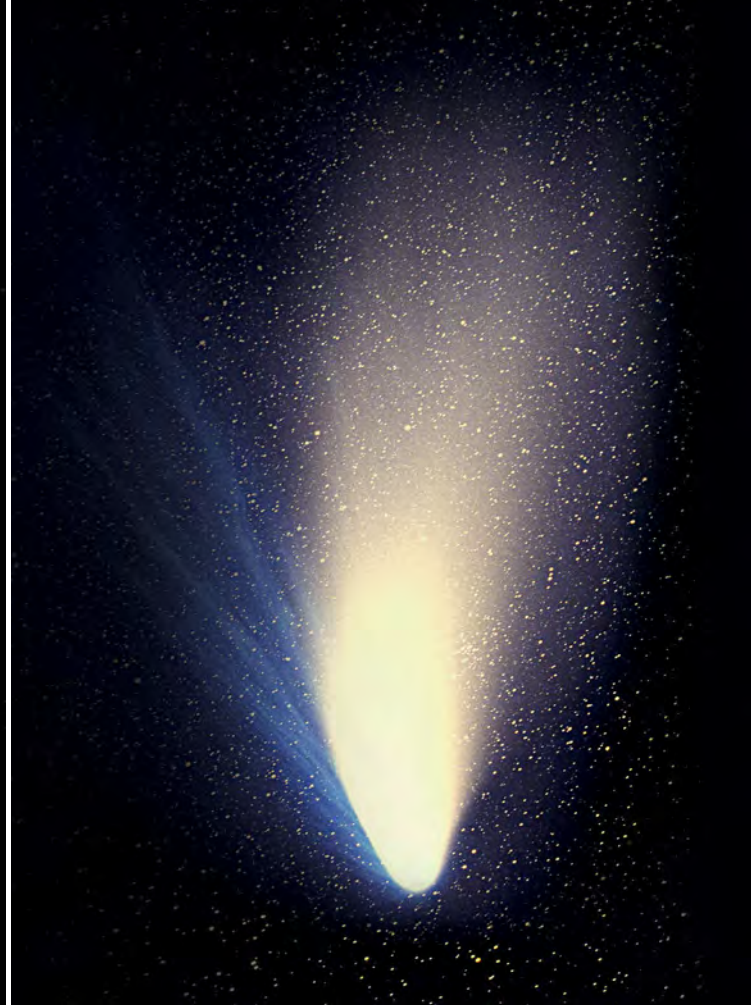
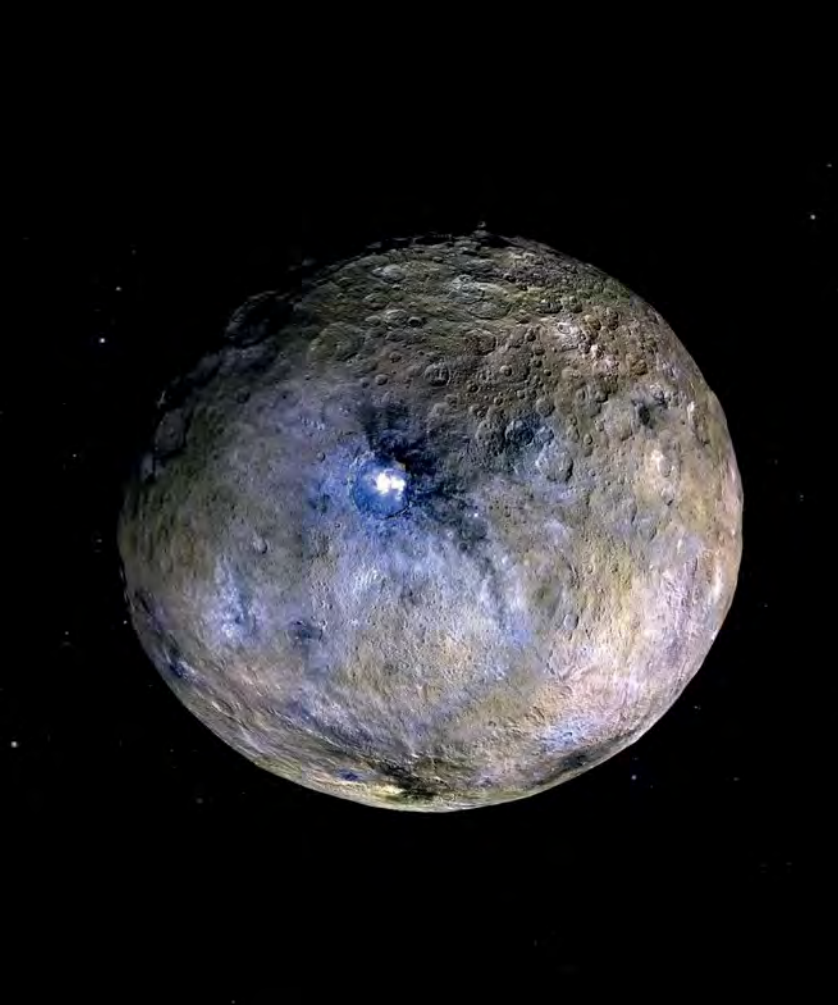
22. August 2016

1. September 2016

9. September 2016

20. September 2016

29. September 2016



Kosmisches Kleinzeug: Der Zwergplanet Ceres (links) gehört zu den Asteroiden, Hale-Bopp zur Familie der Kometen. Bis vor einigen Jahren haben die Astronomen die beiden Klassen wegen ihrer unterschiedlichen Merkmale klar voneinander getrennt, doch die Grenzen verschwimmen zunehmend.

aus. Und im Grenzgebiet dazwischen: „Wir forschen an der Nahtstelle zwischen Astronomie und Geophysik“, so die Göttinger Astronomin, denn es geht um physikalische Prozesse, welche die kleinen Himmelskörper stark beeinflussen können. Ein Schwerpunkt der Wissenschaftlerin ist eine noch überschaubare Teilgruppe der Kleinplaneten, die sogenannten aktiven Asteroiden. Phaethon gehört zu dieser Gruppe aus Sonderlingen. Gemeinsam ist ihnen, dass sie Staub abgeben können. Eine Fachpublikation aus dem Jahr 2015 umfasst bereits 18 Exemplare. Die allermeisten messen nur wenige Kilometer, als Ausnahmen stechen Scheila und Ceres hervor, deren Durchmesser mit 113 und 975 Kilometern beziffert werden.

Asteroiden werden durch Kollisionen mit anderen kleinen Körpern auch immer kleiner, Agarwal vergleicht dies mit einem Mahlprozess. Ein Beispiel ist der Zusammenprall, der das Objekt P/2010 A2 heimsuchte und den die Forscher auf das Jahr 2009 rückdatierten. Fünf Monate lang beobachteten sie im

Folgejahr mit dem *Hubble*-Weltraumteleskop die Entwicklung des Schweifs von P/2010 A2. Dieser stellte sich anders dar als ein normaler Kometenschweif. Denn da Kometen in der Nähe der Sonne quasi kontinuierlich Gas und Staub ausstoßen, hat ihr Schweif üblicherweise eine aufgefächerte Form.

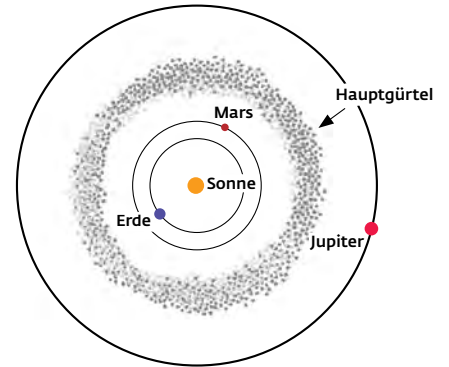
X-FÖRMIGE STRUKTUR IM STAUSCHWEIF ALS UNIKUM

Der geradlinige Schweif von P/2010 A2 deutete hingegen auf die Entstehung durch ein einzelnes, kurzzeitiges Ereignis hin. Bereits auf den ersten detailreichen *Hubble*-Fotos entdeckten die Forscher ein Lichtpünktchen, das zugehörige Objekt schätzten sie auf rund 120 Meter im Durchmesser. „Der Kern erschien fast abgetrennt von der Staubwolke“, so Agarwal, die damals noch am Forschungszentrum der ESA im niederländischen Noordwijk die Bilder auswertete. Den Lichtpunkt interpretierten die Experten als größtes Fragment einer Asteroidenkollision. Eine x-förmige

Struktur im Staubschweif, unmittelbar hinter dem Fragment, macht diesen Asteroiden zu einem Unikum.

Manche der aktiven Asteroiden werden auch als *main-belt comets* tituiert. Bei ihnen vermuten die Astronomen, dass ihre Staubabgabe ähnlich wie bei Kometen durch Wassereis oder andere flüchtige Substanzen angetrieben wird, das beim Sublimieren oberflächennahe Staubkörnchen mitreißt. Ein Vertreter dieser Gruppe ist 288P; er bewegt sich im äußeren Hauptgürtel auf einer elliptischen Bahn und benötigt für einen kompletten Sonnenlauf 5,3 Jahre.

Diesen Kleinplaneten kennt man erst seit dem Jahr 2006, damals war er als schwaches Lichtpünktchen von den auf kleine Körper spezialisierten Spacewatch-Teleskopen am Kitt Peak National Observatory im US-Bundesstaat Arizona entdeckt worden. Bereits fünf Jahre später fiel er auf, als er mehrere Monate lang in Sonnennähe aktiv war. Auf den Fotos waren nämlich ein kurzer, von der Sonne weg gerichteter Staubschweif und eine rund sechsmal längere Spur entlang



Reiche Quelle: Die meisten Asteroiden laufen auf Bahnen zwischen den Planeten Mars und Jupiter um die Sonne, im sogenannten Hauptgürtel.

seiner Bewegungsrichtung klar auszumachen. Die lange Dauer der Aktivität deutete bereits damals auf die Sublimation von Eis als Motor hin.

Im September 2016 waren die Beobachtungsbedingungen für 288P dann besonders günstig. Er näherte sich der Erde sogar bis auf 1,45 AE – eine gute Gelegenheit für Jessica Agarwal und Kollegen, ihrem Studienobjekt weitere Geheimnisse zu entreißen. Auf den hochauflösenden Fotos des *Hubble*-Teleskops zeigte sich nun klar, was vorher nur schemenhaft zu erahnen war: 288P ist doppelt! Er besteht also aus zwei einzelnen, etwa gleich großen Komponenten, die ihren gegenseitigen Schwerpunkt umkreisen; beide messen rund 1,8 Kilometer. Auffällig ist ihr verhältnismäßig großer Abstand, der etwa 100 Kilometer beträgt.

Der aktive Doppelasteroid ist ein gutes Beispiel dafür, dass diese Körper faszinierende Objekte sein können. An ihnen lassen sich die Veränderungsprozesse, denen sie unterworfen sind, gleichsam live studieren. Am Anfang von 288P stand wohl eine Kollision, die einst einen rund zehn Kilometer großen Vorgängerkörper zertrümmerte. Damals, vor etwa 7,5 Millionen Jahren, schlug nicht nur die Geburtsstunde von 288P, sondern diejenige einer ganzen Asteroidenfamilie. Mindestens elf Mitglieder dieser Gruppe sind bereits bekannt, ihre ähnlichen Umlaufbahnen um die Sonne verraten ihren gemeinsamen Ursprung. Astronomisch gesehen handelt es sich um eine sehr junge Familie. Eine zweite, spätere Kollision könnte 288P dann in zwei Trümmer gesprengt haben. Oder er ging bereits

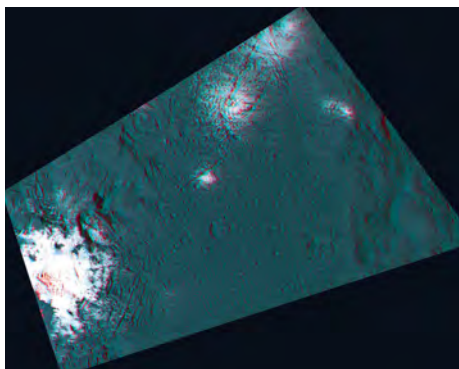
als Doppelkörper aus der gewaltsamen Geburt hervor. „Beides ist nicht auszuschließen, genau wissen wir es nicht“, sagt Jessica Agarwal.

Es gibt jedoch ein plausibleres Szenario. Kleine Himmelskörper können auch durch Fliehkräfte zerrissen werden – und zwar, wenn sie zu schnell um ihre eigene Achse rotieren. Diese Ereignis-

EINE AKTIVE GIGANTIN

Auf der Bühne des gesamten Sonnensystems ist Ceres mit im Mittel 975 Kilometern Durchmesser lediglich ein Zwerg – mit nur 0,28 Prozent der Masse des leichtesten Planeten Merkur. Unter den aktiven Asteroiden, die meisten sind nur wenige Kilometer groß, ist sie jedoch eine Gigantin. Seit Juni 2018 kreist die Raumsonde *Dawn* auf einer neuen, stark elliptischen Umlaufbahn um Ceres. Manchmal trennen die NASA-Sonde nur etwa 35 Kilometer von der Oberfläche, so nah kam *Dawn* ihrem Studienobjekt seit ihrer Ankunft im März 2015 noch nie. Aus der geringen Distanz sind nun Detailfotos des 90 Kilometer großen Occator-Kraters entstanden (Bild), die teils zehnfach bessere Auflösung zeigen und den bisher besten Blick auf die ominösen hellen Flecken bieten, die *Dawn* dort bereits früher entdeckt hatte.

Im Zentrum dieses Einschlagskraters findet sich eine zentrale Vertiefung,



in deren Mitte eine auffallend helle, asymmetrische Kuppe emporragt – der Schauplatz früherer kryovulkanischer Aktivität. Wissenschaftler des Max-Planck-Instituts für Sonnensystemforschung haben herausgefunden, dass dort bis in jüngste geologische Zeit salzige Lösungen austraten. Das Wasser verflüchtigte sich und ließ helle Ablagerungen zurück. Spektroskopische Messungen haben diese Substanz als Natriumcarbonat identifiziert.

Weitere helle Sprengel im östlichen Teil des Kraters sind wahrscheinlich ebenfalls Stellen, wo ein Wasser-Salz-Gemisch zutage trat. Mehrere aktuelle Studien legen nahe, dass die Cereskruste reich an Wassereis ist. Wahrscheinlich legen kleinere Meteoriteneinschläge und Erdbeben immer wieder Eis frei, das dann verdampft. So entsteht eine extrem dünne Gashölle aus Wasserdampf, eine sogenannte Exosphäre.



Totale Auflösung: Der Asteroid P/2013 R3 zerbröselte praktisch vor den Augen der Astronomen. Vermutlich war das Objekt einst eine lose Ansammlung größerer Felsbrocken gewesen. Es verschwand schließlich ganz von der Bildfläche und ward seitdem nicht mehr gesehen.

nisse, die lange schon von Kometen bekannt sind, suchen auch Asteroiden heim. Ein solches Drama kann durch verschiedene Ursachen ausgelöst werden. „Sollte etwa stellenweise oberflächennahes Eis existieren, so könnten die Sublimation des Gases und der damit verbundene Rückstoß eine Art Düseneffekt bewirken, der die Rotation relativ schnell erhöht – bis sie ein kritisches Maß überschreitet, das der Körper dann nicht mehr aushalten kann“, sagt Agarwal.

Demnach wäre schon nach einigen Tausend Jahren eine Zersplitterung des Asteroiden möglich. Jüngste Analysen legen es nahe, dass der „Düsentrieb“ den Körper von 288P mittels einer solchen eskalierenden Eigenrotation auseinanderriß. Auch bei der Entwicklung der gegenseitigen Umlaufbahn dürfte dieser Effekt eine gewichtige Rolle gespielt haben, sodass sich beide Komponenten immer weiter voneinander entfernten – bis sie schließlich die große heutige Distanz erreichten,

die es *Hubble* überhaupt erst ermöglichte, die Doppelnatur von 288P zu enthüllen.

Experten kennen einen weiteren Prozess, der die Eigenrotation verändern kann: den sogenannten YORP-Effekt. Dabei kann im Laufe längerer Zeiträume allein durch die Beleuchtung mit Sonnenlicht und durch die Wiederabstrahlung der Wärme die Drehung eines unregelmäßig geformten, kleinen Himmelskörpers so lange beschleunigt werden, bis die Zentrifugalkräfte ihn zerreißen (Kasten unten). Eine Variante, der Binary-YORP-Effekt, kann darüber hinaus in einem Doppelsystem die Komponenten wieder zusammenführen – oder sie immer weiter voneinander entfernen.

Ein besonders drastischer Fall war die Zersplitterung des Asteroiden P/2013 R3, den David Jewitt von der University of California in Los Angeles zusammen mit Jessica Agarwal und weiteren Kollegen im Jahr 2014 beobachtete. Die Forscher waren quasi live dabei, als der Asteroid seiner schnellen Rotation zum Opfer fiel – wahrscheinlich bewirkt durch den YORP-Effekt: Mindestens zehn Bruchstücke, das größte mit etwa 200 Meter Durchmesser, ließen sich identifizieren. Hinzu kam eine Trümmer- und Staubwolke, deren Masse die Forscher auf etwa 100 000 Tonnen taxierten.

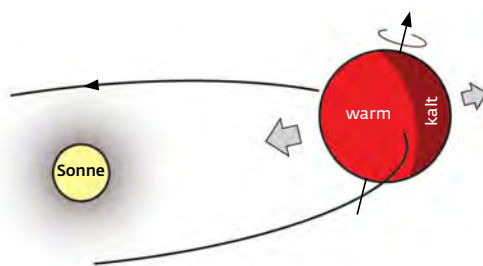
Eine Rückrechnung der Bahnen der einzelnen Bruchstücke auf den Fotos von *Hubble* und vom Keck-Teleskop auf Hawaii weisen darauf hin, dass der Asteroid zwischen Februar und September 2013 begann, in mehreren Stufen zu zerbrechen – nur wenige Monate vor seiner Entdeckung. Wahrscheinlich war P/2013 R3 lediglich eine lose Ansammlung größerer Felsbrocken und Staub, die nur schwach von der geringen Schwerkraft des Körpers zusammengehalten wurde, ein sogenannter Rubble-Pile-Asteroid.

Weil dabei große Mengen von Staub freigesetzt wurden, der einen deutlichen Schweif erzeugte, klassifizierten die Forscher den Himmelskörper zunächst irrtümlich als Kometen. Könnte der Aste-

GESCHREDDERTE ASTEROIDEN

Der YORP-Effekt ist eine allmähliche Veränderung des Rotationszustands kleiner Himmelskörper, etwa Asteroiden, unter dem Einfluss der Sonnenstrahlung. Er entsteht, wenn thermische Strahlung richtungsabhängig von dem Körper abgegeben wird, wodurch ein stetes Drehmoment erzeugt wird. Dadurch kann sich die räumliche Lage der Rotationsachse des Körpers verändern, die sich dann parallel, senkrecht oder antiparallel zu seiner Umlaufebene einstellt. Außerdem kann die Eigenrotation des Asteroiden gebremst oder beschleunigt werden (Bild).

Im Jahr 2007 wurde der Effekt erstmals an den Asteroiden YORP und Apollo nachgewiesen. Die Rotation des aktiven Asteroiden P/2013 R3 wurde offenbar



durch den YORP-Effekt so stark beschleunigt, dass er durch die Fliehkräfte in mindestens zehn Fragmente zerbrach. Der Name des Effekts ist ein englisches Akronym und setzt sich aus den Anfangsbuchstaben der Nachnamen der Forscher Yarkovsky, O'Keefe, Radzievskii und Paddack zusammen.

roid auch durch einen Impakt zerstört worden sein? Agarwal hält das für unwahrscheinlich. Die geringe Geschwindigkeit der Bruchstücke, die im Fall einer Kollision viel größer sein müsste, spreche dagegen. Auch „Düseneffekte“ durch Sublimation von gefrorenen Substanzen – allen voran Wassereis – kommen kaum infrage, da sich keinerlei Hinweis auf länger anhaltende, durch Sublimation angetriebene Staubaktivität finden ließ.

VERSCHWUNDEN AUF NIMMERWIEDERSEHEN

Man muss sich immer wieder auf Überraschungen gefasst machen, wenn man aktive Asteroiden erforscht. „P/2013 R3 ist zerfallen, verschwunden und seitdem nie wieder aufgetaucht. Das Objekt P/2016 G1 bestand offenbar nur aus einer Staubwolke, zumindest war der Kern zu klein, um sichtbar zu sein. P/2013 P5 wiederum zeigte neun, sehr individuelle Staubschweife“, sagt Jessica Agarwal. Die boomende Forschung hat auch die Raumfahrtagenturen aufmerken lassen. So hat die ESA im Januar 2018 über eine Mission zu mehreren aktiven Kleinkörpern nachgedacht, zunächst allerdings nur als theoretische Studie. Die japanische Agentur JAXA ist bereits weiter, sie plant mit der Raumsonde *Destiny+* einen Vorstoß zur Quelle des Geminidenstroms, also zu Phaethon; der Start soll 2022 erfolgen.

Läuft alles nach Plan, so könnte ein Staubdetektor an Bord der Sonde vier Jahre später denjenigen Rohstoff inspizieren, der jedes Jahr im Dezember am irdischen Firmament die Schnuppen fallen lässt; das Instrument wird an der Universität Stuttgart entwickelt. Allerdings ist Phaethon ein unsteter Zeitgenosse, denn auf aktive Phasen folgen auch lange Perioden relativer Ruhe. Wenn Jessica Agarwal sich ein Zielobjekt für eine Raumsonde wünschen dürfte, wäre ihre Wahl aber eine andere: „288P! Er zeigt die kometenartige Aktivität, und der große Abstand seiner Komponenten ist einzigartig. Er wäre mein Favorit.“ ◀



Das Ungewöhnliche im Blick: Jessica Agarwal vom Max-Planck-Institut für Sonnensystemforschung in Göttingen befasst sich mit aktiven Asteroiden. Das sind Himmelskörper, die besondere Merkmale besitzen, etwa aus mehreren Kernen bestehen oder in ihrem Äußeren einem Kometen gleichen.

AUF DEN PUNKT GEBRACHT

- In den vergangenen Jahren haben die Wissenschaftler herausgefunden, dass es keine klare Trennlinie zwischen schweifbildenden Kometen und Asteroiden gibt.
- Die Grenzgänger im Planetensystem werden aktive Asteroiden genannt, weil sie Staub abgeben und Schweife ausbilden können.
- Zusätzlich wurden auch Asteroiden entdeckt, die aus einem Doppelkörper bestehen.
- Manche Asteroiden scheinen nur aus einer Staubwolke zu bestehen, andere zerfallen vor den Augen der Forscher.

GLOSSAR

Astronomische Einheit: Eine Astronomische Einheit (AE) ist der mittlere Abstand zwischen Erde und Sonne und entspricht 149,57 Millionen Kilometern.

Kryovulkanismus: Eine Form von Vulkanismus, bei der keine heiße Lava ausgespuckt wird wie bei Vulkanen auf der Erde, sondern Methan, Kohlenstoffdioxid, Wasser oder Ammoniak. Diese Stoffe liegen im Innern eines Planeten oder Mondes in gefrorenem Zustand vor.

Sublimation: Auf der Erde geht etwa Wasser bei Erwärmung vom festen in den flüssigen und dann in den gasförmigen Zustand über. Wird eine dieser Phasen übersprungen und geht ein Stoff vom festen direkt in den gasförmigen Aggregatzustand über, spricht man von Sublimation.

Ein Quäntchen Gehirn

Hautzellen, Leberzellen, Nervenzellen – der menschliche Körper besteht aus vielen Zelltypen. **Hans Schöler** und sein Team am **Max-Planck-Institut für molekulare Biomedizin** in Münster haben es geschafft, aus diesen Spezialisten wieder teilungsfähige Generalisten zu machen. Diese können unterschiedliche Zelltypen hervorbringen und sich zu organähnlichen Strukturen entwickeln, etwa zu sogenannten Gehirnoiden. Daran untersuchen die Wissenschaftler grundlegende Abläufe im menschlichen Gehirn und die Entstehung von Krankheiten wie Parkinson.

TEXT HARALD RÖSCH

Als Hans Schöler in den 1980er-Jahren begann, die Zellen von frühen Embryonen zu untersuchen, ahnte er noch nicht, wohin ihn seine Forschung einmal führen würde. Was damals für ihn am Max-Planck-Institut für biophysikalische Chemie in Göttingen mit der Entdeckung eines Oct4 getauften Gens begann, ermöglicht ihm fast 30 Jahre später, verschiedene Teile des menschlichen Gehirns zu züchten und zu untersuchen.

Bis vor nicht allzu langer Zeit waren die meisten von Schölers Forscherkol-

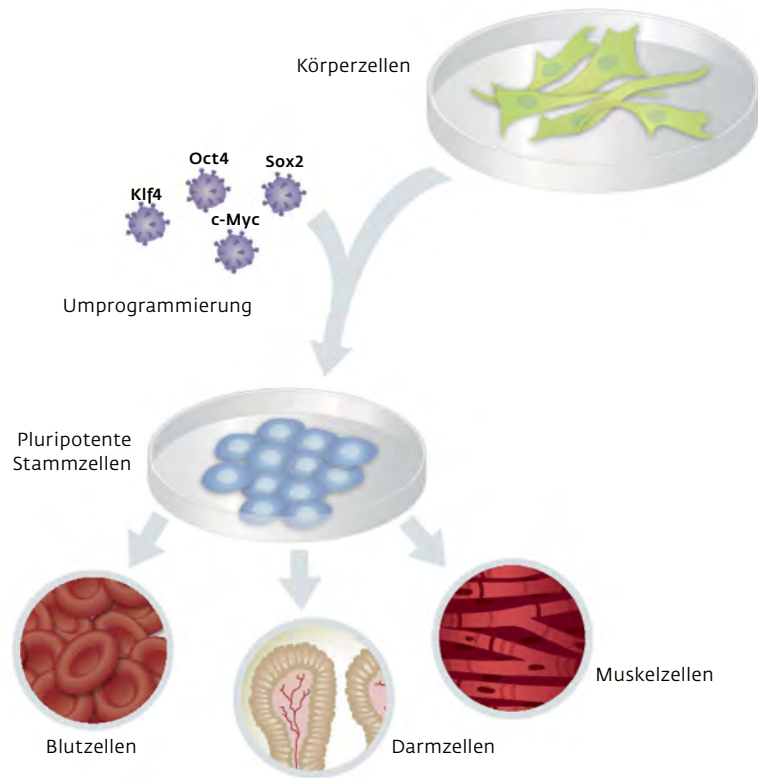
legen davon überzeugt, dass sich Zellen nur in eine Richtung entwickeln können: von Generalisten, sogenannten pluripotenten („Alleskönner“-)Stammzellen, hin zu reifen, auf ganz bestimmte Aufgaben getrimmten Spezialisten. Aus solchen Stammzellen kann also jeder Zelltyp des Körpers hervorgehen.

AUS SPEZIALISTEN WERDEN WIEDER GENERALISTEN

Heute ist das Dogma von der „Einbahnstraße“ der Zellentwicklung Geschichte: Aus Spezialisten lassen sich nämlich

sehr wohl vermehrungsfähige Generalisten züchten. Zum Beispiel sogenannte induzierte pluripotente Stammzellen. Dazu müssen insbesondere die Gene für die Transkriptionsfaktoren Oct4, Sox2, Klf4 und c-Myc aktiv sein, die auch im Frühstadium der Embryonalentwicklung angeschaltet sind. Stattdessen Forscher spezialisierte Zellen in einer Kulturschale mit diesen Genen auslösen können sie die Umwandlung in Generalisten auslösen – eine Erkenntnis, für die der japanische Stammzellforscher Shinya Yamanaka 2012 den Nobelpreis bekommen hat. „Die Lebensuhr der

Gehirnoide in der Petrischale: In der rot gefärbten Nährlösung lassen sich die stecknadelkopfgroßen Nervenzellhaufen lange am Leben erhalten und untersuchen. Die dunkel gefärbten Regionen der sechs Monate alten Gehirnoide könnten auf Pigmentablagerungen zurückgehen.



Vom Spezialisten zum Generalisten zum Spezialisten: Die Zugabe von Viren mit den Genen für vier Wachstumsfaktoren reicht aus, um aus Körperzellen wieder Alleskönnerzellen zu machen. Diese sind in der Lage, sich zu beliebigen Zelltypen weiterzuentwickeln. Wird der Wachstumsfaktor Oct4 durch Brn4 ersetzt, entstehen keine Alleskönner-, sondern lediglich Vielkönnerzellen. Aus einer Nervenzelle lassen sich so die verschiedenen Zelltypen des Nervensystems erzeugen.

Zellen wird bei der Umwandlung fast auf null zurückgestellt“, sagt Schöler. Würde sie komplett zurückgedreht, könnte aus ihr ein kompletter Organismus einschliesslich der Plazenta entstehen. Die Zellen wären dann totipotent. Eine solche Reprogrammierung ist bislang noch nicht möglich.

Ob eine Zelle eine Generalistin oder eine Spezialistin ist, hängt also in erster Linie davon, welche Gene in ihr aktiv sind. Über die Gabe von Transkriptions- oder Wachstumsfaktoren können Forscher dies steuern. Schöler – inzwischen Direktor am Max-Planck-Institut für molekulare Biomedizin – ist die Erkenntnis zu verdanken, dass das Oct4-Gen, sein alter Bekannter aus Göttinger Tagen, wie ein Kapitän sein „Zell-Schiff“ in Richtung Pluripotenz steuert. Die übrigen drei sind gewissermaßen die Matrosen in Yamanakas Cocktail: Sox2 und Klf4 lassen sich gegen verwandte Gene austauschen, und c-Myc ist sogar ganz verzichtbar.

2012 machten Schöler und sein Team in Münster eine weitere wichtige

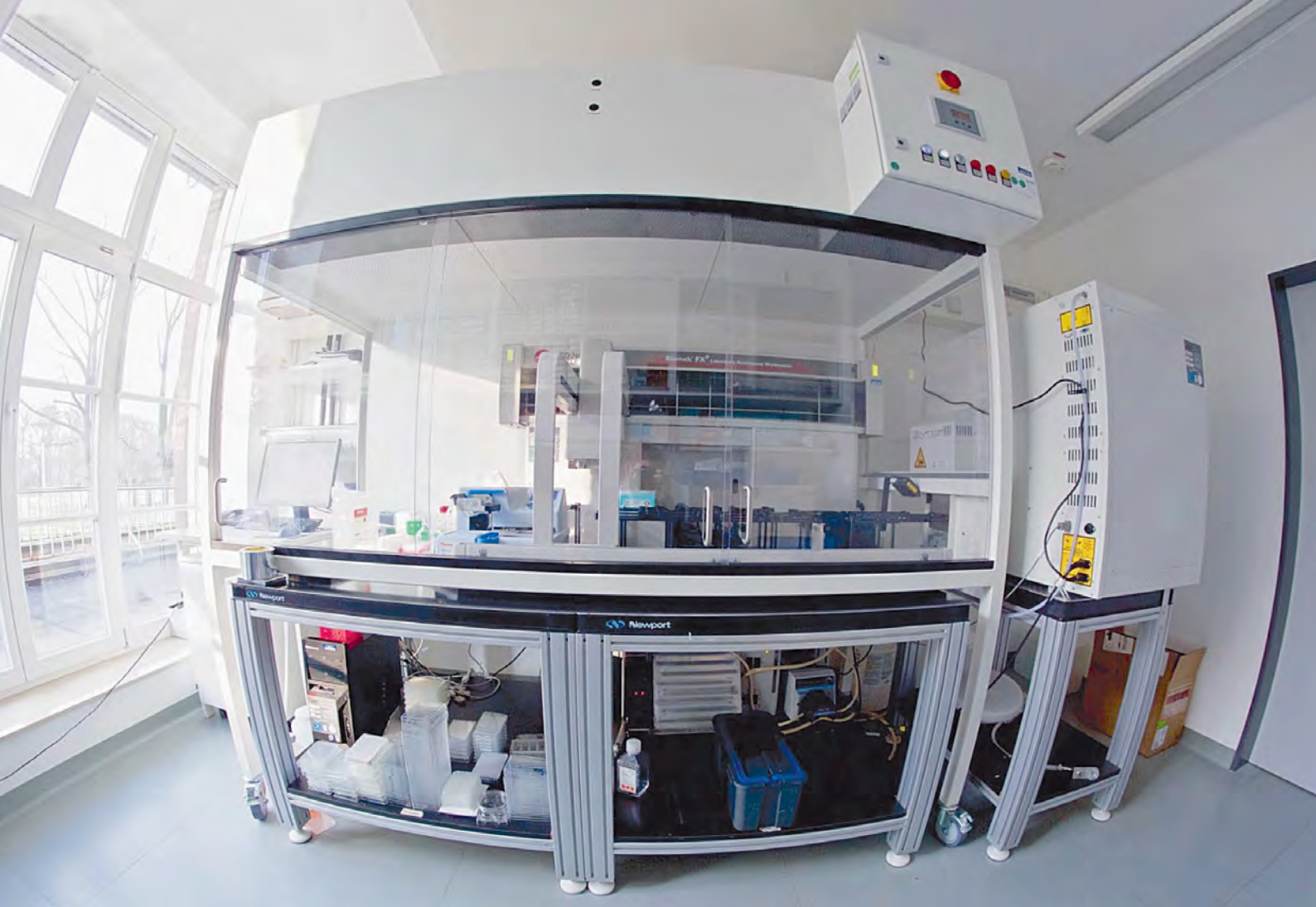
Entdeckung: Wenn sie das Oct4-Gen durch das verwandte Brn4 ersetzen, können sie eine reife Bindegewebszelle, wie sie zum Beispiel in der menschlichen Haut vorkommt, in eine Stammzelle umwandeln, die zwar nicht mehr alle Zelltypen des Körpers hervorbringen kann, aber sehr wohl die Zellen des zentralen Nervensystems. Aus reifen Spezialisten werden so wieder jugendliche „Vielkönner“. Diese neuronalen Stammzellen sind also nicht pluri-, sondern lediglich multipotent. „Für die multipotenten Stammzellen wird die Lebensuhr nicht so weit zurückgedreht wie für die pluripotenten“, erklärt Schöler. Forscher bezeichnen diese Zellen als induzierte neurale Stammzellen.

GERINGERE KREBSGEFAHR

Der Vorteil dieses Verfahrens: Die Reprogrammierung von Bindegewebszellen in neurale Stammzellen ist sicherer, denn so entstehen keine Alleskönnerzellen. Somit sinkt die Gefahr, dass Tumore entstehen. In Zukunft wollen die

Wissenschaftler jedoch lieber reife Zellen des Gehirns in neurale Stammzellen umwandeln und so neurale Vorläuferzellen als Ersatz für degenerative Nervenzellen gewinnen.

Anders als die reifen Zellen des zentralen Nervensystems können sich die neuronalen Stammzellen teilen. Aus ihren Tochterzellen entstehen die verschiedenen Zelltypen, wie sie auch im Gehirn des Menschen vorkommen: verschiedene Typen von Nervenzellen und die deutlich zahlreicheren sogenannten Gliazellen. Während die meisten Zellen im Gehirn und im Rückenmark ihre Teilungsfähigkeit verloren haben, kommen neurale Stammzellen in einigen wenigen Gebieten des Gehirns natürlicherweise bis ins Erwachsenenalter vor. „Wenn wir die umprogrammierten Zellen in diese Nischen im Gehirn ausgewachsener Mäuse einbringen, wachsen sie dort einfach weiter und bringen spezialisierte Zellen hervor, die sich nicht weiter teilen können“, so Schöler. Dies ist eine zentrale Voraussetzung für den medizini-



Noch ist die Herstellung von Gehirnoiden weitestgehend Handarbeit, sie dauert dadurch unnötig lange und ist fehleranfällig. Die Wissenschaftler aus Münster entwickeln deshalb ein Robotersystem, um die Organoide standardisiert und in großer Zahl zu produzieren. Damit wollen sie auch die Wirkung von Substanzen auf Gehirngewebe testen. Auf diese Weise könnte sich eines Tages für jeden Patienten eine maßgeschneiderte Therapie entwickeln lassen. Mit dem Roboter können die Forscher pro Tag bis zu 20000 Gehirnoide erzeugen und gleichzeitig versorgen und testen. Zum Vergleich: Manuell lassen sich maximal ein paar Hundert Organoide pro Tag versorgen – die sich zudem stark voneinander unterscheiden und daher nicht für Medikamententests geeignet sind.

schen Einsatz, denn ansonsten könnte sich im Gehirn eine unkontrolliert wachsende Geschwulst bilden.

Sollte dies auch beim Menschen funktionieren, ließen sich auf diese Weise durch Krankheit oder Unfall verloren gegangene Gehirnzellen ersetzen. Neurale Stammzellen aus dem Labor müssten jedoch direkt in die betroffene Gehirnregion eines Patienten injiziert werden – ein schwieriger und unangenehmer Eingriff. Dies ließe sich umgehen, wenn Forscher bereits im Gehirn vorhandene Zellen zu Vielkönnern umprogrammieren könnten. Zum Beispiel mithilfe von RNA- oder anderen Molekülen, die eben solche Gene aktivieren, die für die Umwandlung der Zellen in Vielkönnern verantwortlich sind.

Doch so weit sind die Wissenschaftler noch nicht. In ihren Labors wachsen menschliche Hautzellen in Kulturschalen bei 37 Grad in Nährlösungen mit teilungsfördernden Wachstumsfaktoren. Viren, die das Gen-Quartett aus Brn4, Sox2, Klf4 und c-Myc ins Erbgut der Zellen einbauen, lösen dann die Entwicklung zu neuronalen Stammzellen aus. Nach kurzer Zeit bedeckt ein Rasen aus Nervenzellen den Boden der Schalen.

ZELLHAUFEN IN DER PETRISCHALE

Österreichische Wissenschaftler haben nun zusammen mit britischen Kollegen eine Methode entwickelt, mit der die Zellen nicht nur einen zweidimensionalen Zellrasen bilden, sondern in alle

Richtungen wachsen können – eine Zellkultur in 3D sozusagen. Ein Gel aus Proteinen bildet dabei ein Gerüst für die sich teilenden Zellen. So entstehen stecknadelkopfgroße Zellhaufen, die Gehirnen früher Embryonen auffallend ähnlich sind.

Für Hans Schöler und sein Team sind die kleinen Zellhaufen hochinteressant, denn die als Gehirnorganoid oder Gehirnoide bekannt gewordenen Gebilde bestehen wie natürliche Gehirne aus unterschiedlichen, miteinander verbundenen Regionen. „Wir können daran die ersten Entwicklungsschritte des Gehirns beobachten und zum Beispiel untersuchen, wie sich Eingriffe ins Erbgut auf die Entwicklung auswirken“, erklärt Schöler. Außerdem bestehen die Organoide aus

Oben Hans Schöler mit einem 3D-Modell von Oct4 - einem Transkriptionsfaktor, dessen Untersuchung er einen wichtigen Teil seines Forscherlebens gewidmet hat. Seine Erkenntnis: Das Protein steuert maßgeblich die Bildung von Stammzellen. (Die verschiedenen Molekülregionen sind blau, grün und rot dargestellt; grau: DNA.)

Unten Pluripotente Stammzellen können sich im Labor spezialisieren und dreidimensionale Gehirnnoide bilden. An ihnen untersuchen Forscher die Reprogrammierung verschiedener Zelltypen in Stammzellen. Diese sind wieder in der Lage, verschiedene Nervenzellen hervorzubringen.

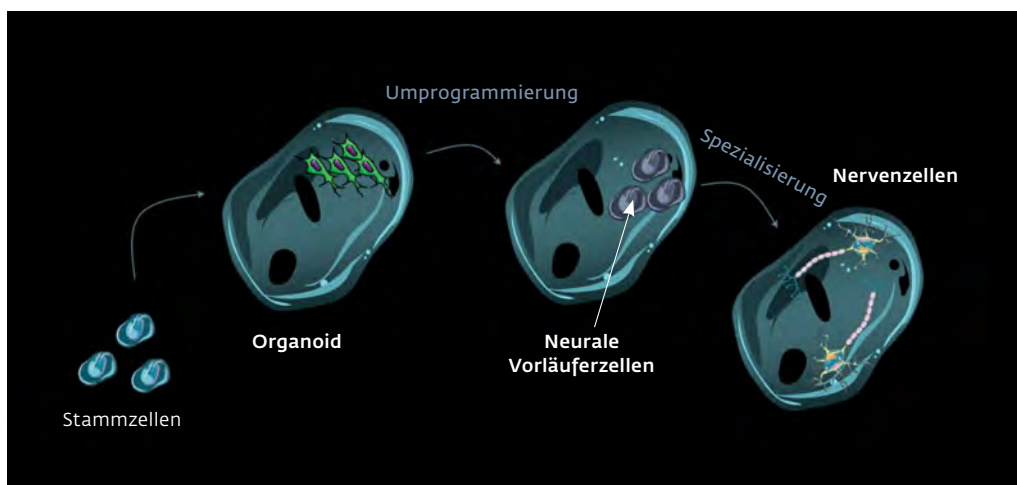


menschlichen Zellen. Die Wissenschaftler müssen also nicht, wie es bisher meist der Fall ist, auf Gehirngewebe von Mäusen oder Ratten zurückgreifen, das sich von dem des Menschen in vieler Hinsicht unterscheidet.

Die Gehirnnoide sind fast wie das Gehirn eines frühen Fötus aufgebaut: beispielsweise wie eine Großhirnrinde mit verschiedenen Zellschichten, in die neue Nervenzellen entlang von Gliazellen einwandern, bis sie ihre endgültige Position gefunden haben. Manche Nervenzellen wiederum besitzen typische Merkmale von Zellen des Hippocampus – einer wichtigen Hirnregion für Lernen und Gedächtnisbildung. Es kann sich sogar ein Vorläufer der Netzhaut des Auges bilden.

SYNCHRONE ELEKTRISCHE AKTIVITÄT

Aus anfänglich wenigen Tausend Bindegewebszellen wird auf diese Weise nach zehn bis zwölf Wochen ein stecknadelkopfgroßes Hirngewebe – äußerlich unscheinbar, aber dennoch ausgesprochen komplex. Auch die Zellen selbst entwickeln sich offenbar wie im natürlichen



Organismus. Äußerlich gleichen sie ihren natürlichen Vorbildern aufs Haar. Und die Nervenzellen sind elektrisch ähnlich aktiv wie ihre natürlichen Vorbilder. Es bilden sich Nervenzell-Netzwerke, die ihre elektrische Aktivität miteinander synchronisieren. So entstehen wellenförmige Aktivitätsmuster, wie sie – allerdings deutlich komplexer – im natürlichen Gehirn auch bei einem EEG sichtbar werden.

Nach zwei Monaten hat so ein Gehirnoid mit bis zu einem Millimeter Durchmesser seine maximale Größe erreicht. „Mehr ist ohne Blutgefäße nicht möglich, denn es diffundieren dann nicht mehr genug Sauerstoff und Nährstoffe in den Zellverband, um die Zellen im Zentrum zu versorgen“, erklärt Schöler. Auch wenn die Organoiden nicht mehr größer werden, sie lassen sich lange am Leben erhalten: „In un-

serem Labor haben wir Organoide bereits seit einem Jahr in Kultur.“

Die Gehirnorganoide aus dem Labor eröffnen Wissenschaftlern ungeahnte Möglichkeiten. Sie können damit nicht nur die Entwicklung des zentralen Nervensystems in der Frühphase der Entwicklung untersuchen, sondern auch die Entstehung von Erkrankungen. Im Fokus von Schöler und seinem Team stehen dabei vor allem neurodegenerative Erkrankungen wie zum Beispiel Parkinson.

NERVENZELLEN STERBEN AB

90 bis 95 Prozent der Parkinson-Fälle treten spontan auf, scheinen also nicht erblich zu sein. Die auffälligsten Symptome der Krankheit – Bewegungsstörungen, Steifheit, Zittern und schließlich Demenz – beruhen auf dem Verlust von Nervenzellen in der sogenannten Substantia nigra, einer Region im Mittelhirn, die für die Kontrolle von Bewegungen verantwortlich ist. Diese Zellen schütten den Botenstoff Dopamin aus, um ihre Signale weiterzuleiten. Medikamente, die dem Rückgang des Dopamins entgegenwirken, können die Symptome lindern und den Verlauf der Erkrankung verlangsamen, aber nicht aufhalten.

Warum die Nervenzellen in diesem Hirngebiet aber überhaupt sterben, ist bis heute weitgehend unklar. Einer der Gründe dafür ist, dass bislang kein gutes Modellsystem für Parkinson zur Verfügung stand. „Es gibt zwar Mäuse mit veränderten Genen, wie sie auch bei vielen Parkinson-Patienten vorkommen. Diese Tiere zeigen manche der typischen Krankheitssymptome, aber wesentliche Aspekte der Erkrankung lassen sich an den Nagetieren nicht untersuchen. Dazu ist das Gehirn von Maus und Mensch zu unterschiedlich“, so Schöler.

Die Gehirnnoide aus menschlichen Zellen sollen hier Abhilfe schaffen. Eine winzige Gewebeprobe von Parkinson-Patienten reicht aus, um daraus Bindegewebszellen zu gewinnen. Diese tragen genau die Genveränderungen, die der Erkrankung des Patienten zugrunde liegen. Nach der Reprogrammierung zu neuronalen Stammzellen geben sie diese Mutationen an ihre Tochterzellen weiter. Außerdem wollen die Wissenschaftler Mechanismen entdecken, die für die nicht vererbten Krankheitsfälle verantwortlich sind. Schöler: „Der Vorteil gegenüber den sonst untersuchten Mausgehirnen ist, dass wir mit menschlichen Zellen arbeiten können, die sich unter einigermaßen natürlichen Bedingungen entwickeln. Dies ist ein sehr viel realistischeres Modell für die Erkrankung als die Maus.“

Schon vor einigen Jahren haben Hans Schöler und sein Team mithilfe solcher genetisch veränderter Stammzellen die Auswirkungen einer Mutation entdeckt, die bei manchen Patienten mit einer erblichen Form der Erkrankung auftritt. Die Forscher haben dabei Bindegewebszellen von Parkinson-Patienten mit einer Mutation

im LRRK2-Gen entnommen und zu induzierten pluripotenten Stammzellen umprogrammiert. Nach Zugabe verschiedener Wachstumsfaktoren entwickelten sich die Stammzellen zu Dopamin ausschüttenden Nervenzellen weiter, wie sie in der durch Parkinson besonders geschädigten Substantia nigra-Region typisch sind. Analysen der Forscher ergaben, dass eine Mutation im Gen LRRK2 ein Enzym namens ERK so stark aktiviert, dass es zu einer Fehlsteuerung weiterer Gene und in der Folge zum Absterben der reifen Nervenzellen kommt. Korrigierten die Wissenschaftler die Mutation im LRRK2-Gen, konnten sie den frühen Tod der Zellen verhindern.

HILFE FÜR PARKINSON-FORSCHUNG

Schöler und sein Team haben damit wichtige Erkenntnisse darüber gewonnen, welche Veränderungen in den Zellen dieser Parkinson-Patienten ablaufen. Noch weiterführende Erkenntnisse will Schöler künftig mithilfe der Gehirnnoide gewinnen. Anders als in den in der Studie verwendeten Zellkulturen

DENKENDE GEHIRNOIDE?

Die heutigen Gehirnorganoide sind weit von den Visionen mancher Science-Fiction-Filme entfernt, in denen komplette menschliche Gehirne in Nährlösungen schwimmen und über Kabel mit der Außenwelt kommunizieren. Die Nervenzellen der Organoide sind zwar elektrisch aktiv und kommunizieren miteinander. Sie enthalten jedoch viel weniger Zellen als ein ausgewachsenes menschliches Gehirn, so dass sich keine annähernd so komplexen Netzwerke ausbilden können wie in ihrem natürlichen Gegenstück. Hinzu kommt, dass die Organoide kaum Signale aus ihrer Umwelt enthalten, weil sie keine Sinnesorgane besitzen. Anstatt von „Mini-Gehirnen“ wie in vielen Artikeln zu diesem Thema sprechen die Wissenschaftler aus Münster deshalb lieber von Gehirnnoiden – also gehirnähnlichen Strukturen.

Gehirnoide in verschiedenen Altersstufen: Unter dem Fluoreszenzmikroskop zeigt sich die wachsende Komplexität mit zunehmendem Alter. Während die Gehirnoide zu Beginn (Tag 10) hauptsächlich aus neuronalen Stamm- (grün) und Vorläuferzellen (magenta) bestehen, kommen an Tag 30 reife Nerven- (rot) zu den Vorläuferzellen (grau) hinzu. An Tag 70 dominieren reife (rot) und junge (grau) Nervenzellen sowie Gliazellen (grün). Die Zellkerne sind blau dargestellt.

können die Forscher in den dreidimensionalen Gehirnorganoiden untersuchen, welche Auswirkungen Mutationen wie die im LRRK2-Gen auf die Verknüpfung und Funktionstüchtigkeit der Nervenzellnetzwerke haben.

WENIGER TIERVERSUCHE

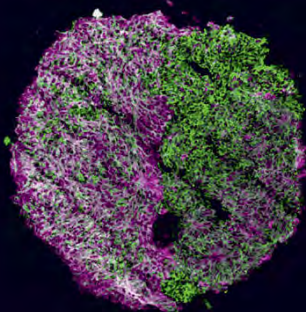
Und noch etwas spricht für die Gehirnnoide aus Schölers Labor: Sie könnten eines Tages viele Versuche überflüssig machen, für die heute noch Versuchstiere eingesetzt werden. Obwohl sich die Gehirne von Mäusen und anderen Tieren, die in den Neurowissenschaften als Modellorganismen eingesetzt werden, mehr oder weniger stark vom Gehirn des Menschen unterscheiden, gibt es zu Tierversuchen derzeit keine allgemein anerkannte Alternative. Auch die gegenwärtig häufig verwendeten einschichtigen Kulturen aus differenzierten Nervenzellen sind kein wirklicher Ersatz

– zu wenig ähneln die Kulturbedingungen den natürlichen Verhältnissen im menschlichen Gehirn. Mit den Gehirnnoiden will Schöler die komplexen Vorgänge innerhalb und zwischen den Nervenzellen nun so nah wie möglich am natürlichen Vorbild des menschlichen Gehirns nachbilden.

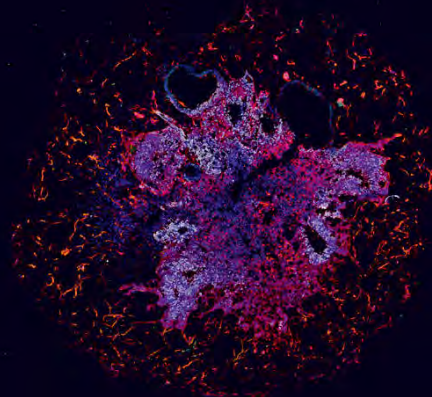
Tierversuche würden damit zwar nicht überflüssig, aber für viele Fragestellungen könnten Gehirnnoide eine wertvolle Alternative sein. Damit folgt Schöler den Zielen, die die Max-Planck-Gesellschaft 2017 in einer Grundsatzklärung zu Tierversuchen in der Grundlagenforschung verabschiedet hat. Sie bekennt sich darin dazu, die Qualität der Forschung zu erhöhen und gleichzeitig die Tierversuchszahlen zu senken. Daher fördert die Max-Planck-Gesellschaft Schöler und sein Team auch mit zusätzlichen finanziellen Mitteln.

Damit diese Vision Wirklichkeit werden kann, müssen die Wissen-

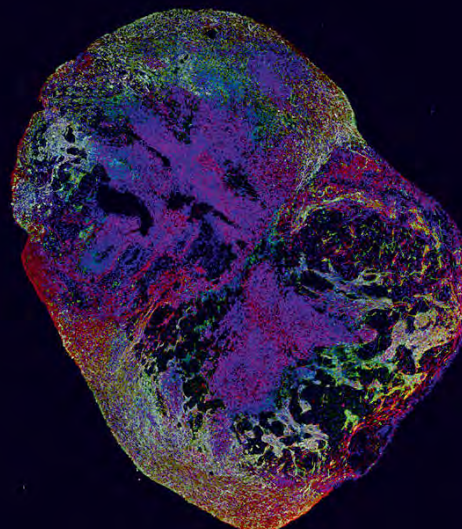
Tag 10



Tag 30



Tag 70



» Wichtige Aspekte von Parkinson lassen sich an Mäusen nicht untersuchen, dazu ist das Gehirn von Maus und Mensch zu unterschiedlich. Gehirnoide aus menschlichen Zellen sind daher ein realistischeres Modell für Parkinson.

schaftler einige Voraussetzungen schaffen: Noch unterscheiden sich die Gehirnoide zu stark voneinander, denn selbst unter identischen Kulturbedingungen bleibt jedes Organoid ein Unikat. Während sich die Gehirnentwicklung unter natürlichen Bedingungen an den vorgegebenen Körperachsen orientiert, fehlt den Zellen in den Kulturschalen diese Information. Aus diesem Grund lässt sich nicht vorhersagen, welche Hirnregionen in welchem Ausmaß gebildet werden – verlässliche Ergebnisse lassen sich auf diese Weise kaum gewinnen. Dies ist eines der Hauptprobleme für die Verwendung von dreidimensionalen Geweben in der Kulturschale als Modell für Organe.

GEHIRNOIDE FÜR UNTERSCHIEDLICHE REGIONEN

Zunächst muss es den Forschern daher gelingen, einheitlichere Gehirnoide zu produzieren. Sie konzentrieren sich auf die Erzeugung von Organoiden, die sie jeweils durch eine veränderte Reprogrammierung in eines einer anderen Hirnregion umwandeln können. So wollen sie etwa Gehirnoide für Groß-, Klein-, Zwischen-, Mittel- und Nachhirn in vorhersehbarer Qualität herstellen.

Darüber hinaus setzen die Wissenschaftler „Small Molecule Neural Precursor Cells“ ein. Das sind besondere Vielkärnerzellen, die sich nicht nur nahezu unbegrenzt teilen, sondern sich auch zu verschiedenen Typen von Nerven- und Gliazellen des zentralen und peripheren Nervensystems entwickeln können. Ein Beispiel sind die Dopamin ausschüttenen Nervenzellen, wie sie in der Sub-

stantia nigra vorkommen. Die aus diesen Vorläuferzellen hervorgehenden Mittelhirn-Organoiden sind nicht nur deutlich gleichförmiger aufgebaut als bisherige Gehirnoide, vielmehr lassen sie sich auch schneller und effizienter erzeugen.

Und schließlich nutzen die Forscher aus Münster Robotersysteme, die die einzelnen Schritte bis zum fertigen Gehirnoide automatisch ausführen und kontrollieren. Denn noch müssen die Stammzellen umständlich von Hand versorgt und jedes Organoid individu-

ell analysiert werden – zu fehleranfällig und zu teuer für ein Modellsystem.

Mit solchen Laborrobotern könnten Forscher künftig in großem Stil die Wirkung verschiedener Substanzen unter standardisierten Bedingungen untersuchen. Dadurch würden viele Tierversuche für präklinische Studien überflüssig. Von alledem hat der junge Hans Schöler in Göttingen seinerzeit sicher nicht zu träumen gewagt, als er das Oct4-Gen entdeckte. ◀

 <https://youtu.be/QTuPv46GUq4>

AUF DEN PUNKT GEBRACHT

- Mit einem Gen-Quartett aus den Transkriptionsfaktor-Genen Oct4, Sox2, Klf4 und c-Myc lassen sich reife Körperzellen in Stammzellen umwandeln, aus denen fast alle Zelltypen des Körpers hervorgehen können (induzierte pluripotente Stammzellen).
- Wird das Oct4-Gen durch das verwandte Brn4 ersetzt, entstehen keine pluripotenten Stammzellen, sondern neurale Stammzellen. Diese können alle Zelltypen des zentralen Nervensystems hervorbringen.
- Menschliche Hautzellen lassen sich auf diese Weise zu neuronalen Stammzellen umprogrammieren und zu wenige Millimeter großen, gehirnähnlichen Organoiden weiterentwickeln. Forscher können damit Erkrankungen wie Parkinson oder Alzheimer untersuchen, ohne dafür Versuchstiere einsetzen zu müssen.

GLOSSAR

Transkriptionsfaktoren: Diese Proteine starten oder unterdrücken das Ablesen eines zugehörigen Gens, sie können ein Gen also aktivieren oder hemmen.

Humane induzierte pluripotente Stammzellen: Alle Zellen, die in der Lage sind, sich selbst durch Zellteilung zu reproduzieren und zu spezialisierten Zellen weiterzuentwickeln, werden als Stammzellen bezeichnet. Durch die Aktivierung bestimmter Gene können sich bereits spezialisierte Zellen eines Erwachsenen wieder in teilungsfähige Stammzellen zurückentwickeln, aus denen viele verschiedene Zelltypen hervorgehen (Pluripotenz).

Neurale Stammzellen: Anders als die pluripotenten Stammzellen können neurale Stammzellen „nur“ die verschiedenen Typen von Nerven- und Gliazellen bilden. Während sie im embryonalen Gehirn häufig vorkommen, besitzt das Gehirn eines Erwachsenen kaum mehr neurale Stammzellen.



Ein Riecher für Gefühle

Bevor **Jonathan Williams** die Atmosphärenchemie entdeckte, hatte er ein Problem: Ihn faszinierte so viel, dass er nicht wusste, welcher wissenschaftlichen Disziplin er sich widmen sollte. Vielseitig ist der Wissenschaftler am Mainzer **Max-Planck-Institut für Chemie** aber auch heute noch. So hat in den vergangenen Jahren noch mal ein neues Forschungsthema sein Interesse geweckt – die Spur, die unsere Emotionen in der Luft hinterlassen.

TEXT **KLAUS JACOB**


Jonathan Williams hat einen ziemlich weiten Weg hinter sich, nicht nur geografisch, sondern auch was seine Forschungsthemen angeht. Obwohl er jetzt schon seit 20 Jahren am Max-Planck-Institut für Chemie forscht, gleicht sein Leben wie bei vielen Wissenschaftlern dem eines Globetrotters. Der Engländer wurde 1968 in Südafrika geboren, weil sein Vater, ein Ingenieur, dort für ein paar Jahre tätig war. An diese Zeit kann sich Williams allerdings nicht mehr erinnern. Schule und Universität absolvierte er in England.

Anschließend studierte er an der University of East Anglia im britischen Norwich Chemie und Französisch – es fiel ihm schwer, sich auf ein Fachgebiet festzulegen, weil ihn einfach zu viel interessierte. Erst bei einem Seminar über das Klima in Frankreich wurde ihm

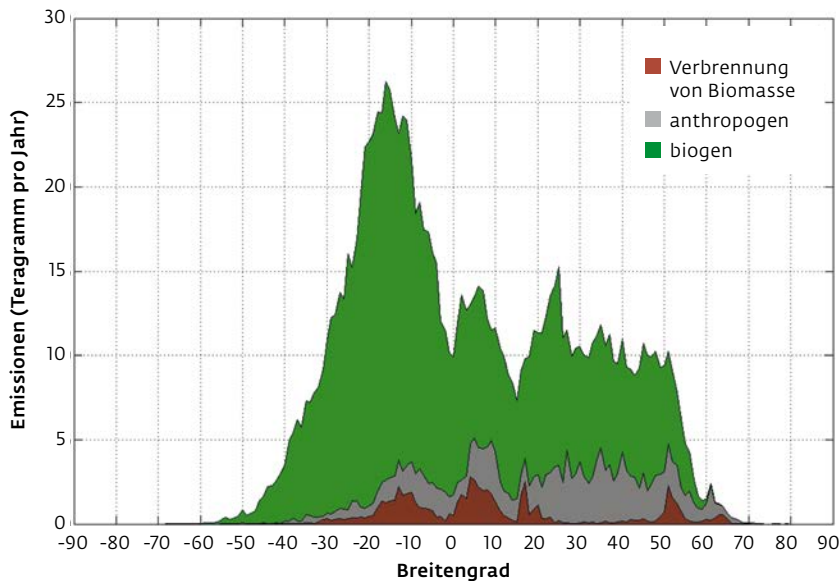
klar, welchem Gebiet er sich verschreiben wollte: der Atmosphärenchemie. Vor allem faszinierte ihn, dass die Vorgänge in der Atmosphäre – anders als im Ozean – sehr schnell ablaufen. Das macht die Forschung vielseitig und spannend: „Ein normales Forscherleben reicht aus, um etwas Neues zu entdecken“, sagt Williams schmunzelnd.

DER EINFLUSS FLÜCHTIGER ORGANISCHER VERBINDUNGEN

Für das Gebiet, das Williams nun für sich entdeckt hatte, war die University of East Anglia die richtige Adresse, weil es hier einen starken Zweig in der Atmosphärenforschung gab. Also machte Williams dort seinen PhD, und zwar über Oxidationsprozesse in der Luft, die für die Selbstreinigungskraft der Atmosphäre eine Rolle spielen. >

A photograph of a man with short, light-colored hair, wearing a light-colored, patterned button-down shirt, sitting in a large, empty theater. He is looking towards the camera with a slight smile. The theater seats are dark red and arranged in rows, extending far into the background. The lighting is warm and focused on the man, with the rest of the theater in soft shadow.

Ein neues Forschungsterrain für einen Atmosphärenchemiker: Seit ein paar Jahren untersucht Jonathan Williams, ob die Gefühle während eines Films in der Kinoluft Spuren hinterlassen.



Links Die Quellen flüchtiger organischer Verbindungen: In der Darstellung der VOC-Emissionen nach Breitengraden und Ursprung ist zu erkennen, dass Pflanzen vor allem in den tropischen Regenwäldern den größten Teil der Substanzen freisetzen. Dort, wo die Kontinente stark besiedelt sind, entstehen VOCs auch durch die Verbrennung fossiler Brennstoffe.

Rechte Seite Hoch hinaus: Um die durchschnittlichen Emissionen flüchtiger organischer Substanzen im tropischen Regenwald zu ermitteln, müssen Forscher auch in möglichst großer Höhe messen. Dafür nutzen sie beispielsweise einen 80-Meter-Turm im Amazonaswald. Über die roten Schläuche gelangen die Luftproben zu den Massenspektrometern am Boden.

Während der Promotion hatte er auch erstmals mit flüchtigen organischen Komponenten, kurz VOCs (*Volatile Organic Compounds*), zu tun, den Substanzen, die heute noch sein Thema sind. Das sind letztlich die Stoffe, die man riechen kann – wie im Duft von Rosen oder im lästigen Plastikmief im Neuwagen. Es gibt Tausende davon. Sie sind zwar nur in winzigen Spuren in der Atmosphäre vorhanden – ihre Konzentration ist noch wesentlich geringer als die von Kohlendioxid. Dennoch haben sie großen Einfluss: „Sie machen die Musik“, wie es Williams ausdrückt. So sind sie maßgeblich an der Bildung von bodennahem Ozon und von Feinstaub beteiligt.

VOCS AUS PFLANZEN TRAGEN ZUR OZONBILDUNG BEI

Um die Rolle der VOCs bei der Ozonbildung ging es auch, als Williams, frisch promoviert, zur National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA), dem amerikanischen Wetterdienst, in Boulder in Colorado wechselte. Die Behörden in den USA hatten viel gegen das bodennahe Ozon unternommen, aber die Belastung war kaum zurückgegangen. So fuhren Autos in den USA schon seit den 1970er-Jahren mit Katalysato-

ren, die Kohlenwasserstoffe aus ihren Abgasen entfernten. Die unverbrannten Treibstoffreste galten als entscheidender Faktor bei der Ozonbildung.

Warum die Luft in den USA trotz der strengen Abgasnormen noch zu viel Ozon enthielt, untersuchte Jonathan Williams mithilfe von Hurrikan-Jägern. In die Flugzeuge, die normalerweise Daten über die Entwicklung und die Wege der Wirbelstürme sammeln, lud er außerhalb der Hurrikansaison seine Messgeräte. Die Hunderte Stunden, die er an Bord der Flugzeuge verbrachte, zahlten sich aus. Denn in seinen Untersuchungen fand der Atmosphärenchemiker heraus, dass VOCs aus Pflanzen bei der Ozonbildung die Rolle der Substanzen übernommen hatten, die vor der Einführung von Autokatalysatoren auch aus den Kohlenwasserstoffen des Sprits entstanden waren.

Damit hatten biogene VOCs seine Aufmerksamkeit auf sich gezogen. Tatsächlich stammt der größte Teil dieser flüchtigen Verbindungen in der Atmosphäre aus der Vegetation, nur rund zehn Prozent gelten als anthropogen. Um zu erforschen, wie VOCs vor allem aus Pflanzen zur Atmosphärenchemie beitragen, zog es Williams 1998 nach Mainz. Er wollte unbedingt am Institut des Nobelpreisträgers Paul J. Crutzen ar-

beiten. Mainz, sagt er, „ist für Atmosphärenforscher der Nabel der Welt.“ Das ideale Großraumlabor für sein Thema befindet sich allerdings nicht in der rheinland-pfälzischen Landeshauptstadt, sondern in Südamerika: Der Amazonas-Regenwald, der Unmengen an VOCs ausschwitzt, ist der Ort der Wahl für Williams' Untersuchungen.

EINE ODYSSEE ZUM MESSTURM ATTO IM DSCHUNDEL

In diese grüne Wildnis reist Williams zweimal im Jahr. Dort hat er zunächst von einem 80 Meter hohen Gerüst aus gemessen. Dann, vor zwei Jahren, stellte die Max-Planck-Gesellschaft einen 325 Meter hohen Turm namens ATTO auf, der Messungen in unterschiedlichen Höhen erlaubt. Hier erforscht Williams, wie die hochreaktiven VOCs mit Bestandteilen der Luft und untereinander reagieren und sich dabei verändern.

Die Anfahrt gleicht jedes Mal einer Odyssee: Der Atmosphärenchemiker muss von einem großen in ein kleines Flugzeug umsteigen, dann geht es weiter mit dem Auto und schließlich auf dem Fluss, um ins Herz des Dschungels vorzudringen. Und dort wartet noch der schweißtreibende Anstieg auf den Turm, der schon als Bergtour durch-



geht. Eigentlich ist dieser Turm nur ein offenes Treppenhaus, das von Stahlseilen gehalten wird. Etwa eine Dreiviertelstunde braucht der Wissenschaftler für die 325 Höhenmeter.

Auf der abgelegenen Forschungsstation war es vor zehn Jahren auch, dass seine Forschung durch vorwitzige Studenten eine neue Wendung bekam. Wie immer bei seinen Exkursionen begleiteten die Jungakademiker den Engländer. Neugierig pusteten sie in das empfindliche Gerät, das eigentlich die Waldluft einfangen sollte. Und siehe da: In ihrem Atem steckten viele Substanzen, die auch aus dem Dschungel entweichen, vor allem der Hauptbestandteil Isopren. Da lag die Frage nahe, ob neben der Vegetation nicht auch die Menschen einen maßgeblichen Teil zum VOC-Inventar der Luft beitragen. Sind die Menschen am Ende sogar wichtiger als die Tropenwälder? Immerhin leben inzwischen rund sieben Milliarden von ihnen auf der Erde.

Williams wollte die Frage nicht einfach abtun, sondern ging der Sache auf den Grund. Nur: Wie kann man messen, was die Menschheit an organischen Substanzen an die Luft abgibt? An den Geräten scheitert es nicht. Die Mainzer Massenspektrometer können innerhalb von einer Sekunde mehrere

Hundert unterschiedliche Substanzen gleichzeitig messen. Und das mit extrem hoher Genauigkeit: Sie spüren noch Stoffe auf, die in der Luft nur in einer Konzentration von zehn Anteilen pro Milliarde (ppb) enthalten sind. Die Apparate erlauben damit, Ausdünstungen jeglicher Art in Echtzeit zu registrieren.

DAS MITTEL DER TRANSPIRATION VIELER MENSCHEN

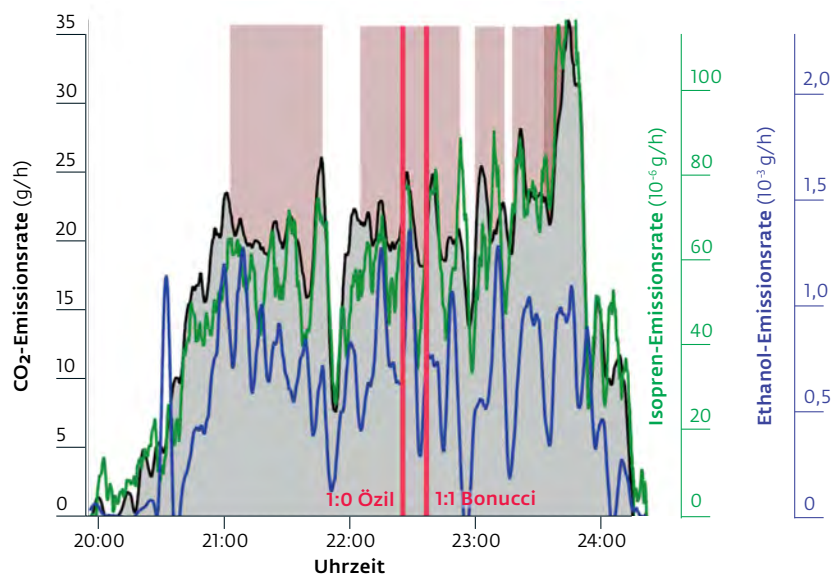
Man könnte also eine Versuchsperson in eine geschlossene Box setzen, die Veränderungen der Luft messen und die Ergebnisse mit der Anzahl der Menschen, also mit sieben Milliarden, multiplizieren. Doch so einfach geht das nicht, denn die Menschen sind grundverschieden, was ihre Transpiration angeht. Stimmungsschwankungen, die letzte Mahlzeit, Krankheiten, Zahnprobleme, Alter, individuelle Eigenarten, Hygiene – alles hat Einfluss auf die Ausdünstungen. Was man also braucht, ist ein Mittelwert, ein Querschnitt über die Transpiration einer Vielzahl von Menschen.

Williams musste nicht lange nachdenken, um auf einen Ort zu kommen, wo sich regelmäßig Massen zusammenfinden. Er ist Fußballfan. Die letzte Weltmeisterschaft, die sein Heimatland bis ins Halbfinale brachte, hat ihm

mehrere schlaflose Nächte beschert. Und am Mainzer Max-Planck-Institut hat er nicht nur seine Frau, eine Geologin, kennengelernt, sondern auch ein Faible für Mainz 05 entwickelt. Vor allem als die Mannschaft noch in der zweiten Liga spielte, ging er oft zu den Spielen. Da lag es nahe, die Messungen im Stadion zu machen.

Vom Institutsgebäude aus kann er die Opel Arena sehen. Sie liegt nur einen Steinwurf entfernt und ähnelt einer nach oben teilweise offenen Kiste – gute Bedingungen für eine Messkampagne. „Die Leute vom Verein wundern sich zwar über unser Anliegen, waren dann aber sehr kooperativ“, sagt Williams. Bei einem Abendspiel gegen Wolfsburg rückte er mit seinem Team an und baute die mannshohen Geräte im oberen Teil neben der Polizeistation auf. Langsam füllte sich das Stadion, bis es schließlich einem „rot-weißen Dschungel glich“, wie Williams sagt. Neben den VOCs maß er auch den Gehalt an Kohlendioxid, das Menschen ausatmen.

Während die rund 31 000 Besucher ihre Plätze suchten, erhöhte sich die CO₂-Konzentration im Stadium kontinuierlich, von rund 400 auf 500 Anteile pro Million (ppm). In der Halbzeit gingen die Werte wieder ein Stück zurück,



Fußball aus chemischer Perspektive: Als während der Europameisterschaft 2016 das Spiel Deutschland gegen Italien in einem Mannheimer Kino übertragen wurde, maß Jonathan Williams und seine Kollegen verschiedene Stoffe in der Luft. Als Mesut Özil in der zweiten Halbzeit das 1:0 schoss, stieg der Isoprengehalt der Luft, weil die Leute aufgeregt waren. Auch die Ethanolkonzentration stieg an – offenbar tranken die Leute auf den Treffer. Beim Ausgleich durch Leonardo Bonucci ließ sich nur mehr Isopren nachweisen. Während des Elfmeterschießens nahmen Isopren und CO₂ in der Luft deutlich zu – Letzteres, weil die Zuschauer schneller atmeten.

weil viele Fans ihre Plätze verließen, um unter der Tribüne Bier oder Würstchen zu kaufen. Beeindruckt war Williams davon, dass die CO₂-Kurve auch den Spielverlauf widerspiegelte. In kritischen Situationen, bei einem Freistoß oder einer Ecke, wenn also die Emotionen hochgingen, stieg die CO₂-Konzentration. Die kleinen Peaks zeigten, dass sich die Atmung beschleunigte, weil der Puls in die Höhe ging.

Aussagekräftig waren auch die Ergebnisse der VOC-Messungen. Während im Regenwald Isopren das VOC-Spektrum dominiert, war es im Stadion Ethanol, besser bekannt als Alkohol. Der Grund liegt auf der Hand: Viele Fans kamen leicht beschwipst ins Stadion. Während sich die Ränge füllten, stieg somit der Ethanolpegel. In der ersten Halbzeit ging er wieder leicht zurück, weil den Fans der Nachschub fehlte. In der Halbzeitpause holten sie neues Bier, und die Kurve ging wieder nach oben.

Und noch eine zweite Substanz war auffällig: Acetonitril – ein guter Bekannter von Williams. Im Amazonas-Regenwald ist bei einem hohen Gehalt dieser Substanz Vorsicht geboten, weil dann irgendwo ein Feuer wütet und die Messungen verfälscht. Im Stadion treiben Raucher den Wert nach oben. Hier verlief die Kurve etwas anders als beim

Alkohol: Vor allem in der Halbzeitpause führte der Zigarettenmief zu Spitzenwerten. „Dann sind die Fans superner“, sagt der Fachmann.

ES ENTSTAND DIE IDEE, EMOTIONEN ZU MESSEN

Insgesamt zeigten die Messungen, dass die Menschen wesentlich weniger Einfluss auf den VOC-Gehalt der Atmosphäre haben als etwa der tropische Regenwald. Damit war die Ausgangsfrage beantwortet. Doch Williams gab sich noch nicht zufrieden, denn er hatte erkannt, dass man aus den Messwerten ablesen kann, wie sich Menschen verhalten. So entstand die Idee, Emotionen zu messen. Williams ärgerte sich, dass bei der untersuchten Partie kein Tor gefallen war, sonst hätte er vielleicht schon hier einen chemischen Marker für Freude und Euphorie gefunden. Er plante also weitere Studien.

Sein Vorhaben ist keineswegs abwegig. Denn die von VOCs vermittelten Gerüche spielen bei vielen Lebewesen eine wichtige Rolle. Sie waren gewissermaßen die ersten Worte, die Organismen wechselten. Pflanzen kommunizieren noch immer ausschließlich über VOCs. Viele Gewächse können durch die Emission chemischer Substanzen

Artgenossen warnen, wenn ihre Blätter angenagt werden, oder sogar Raubinsekten anlocken, die ihre Feinde fressen.

Auch bei Insekten spielen die Substanzen in Form von Pheromonen eine wichtige Rolle. Und viele Säugetiere wie etwa Hunde lassen sich von der Nase leiten. Menschen haben zwar andere Möglichkeiten, sich mitzuteilen. Doch dass auch bei ihnen Gerüche eine Bedeutung haben, weiß jeder nur zu gut. Sonst würden sich kaum so viele Zeitgenossen mit Parfüm eine besondere Note geben. Und der Ausdruck, man könne jemanden nicht riechen, ist durchaus wörtlich zu nehmen. Warum also sollen sich nicht auch Gefühle mit chemischen Substanzen in der Luft bemerkbar machen?

Für seine Untersuchungen dieser Frage suchte Williams ein geschlossenes Gebäude, in dem keine Turbulenzen stören wie in einem offenen Stadion. Fündig wurde er im örtlichen Multiplex-Kino Cinestar – einem geradezu idealen Labor: Die Filme sorgten für Emotionen, und die Lüftung brachte die menschlichen Reaktionen fast in Echtzeit zur Apparatur. Denn Frischluft wird unter den Sitzen eingeblasen und an der Decke abgesaugt. Alles, was die Zuschauer ausdünsten, landet somit im Nu im Abluftschacht. Die Max-Planck-Crew musste nur noch den Luftstrom anzapfen.



Inzwischen haben die Forscher Hunderte Vorstellungen vermessen. Bei den Ethanolwerten, also dem Alkoholpegel, gab es keine Überraschung. Er lag am Samstagabend weit höher als in Vorstellungen am Montagmorgen. Interessant waren die Siloxane, die in Deos und Shampoos stecken. Ihre Konzentration nahm jeweils am Anfang und Ende eines Films zu, wenn sich die Zuschauer ihre Jacken und Pullover aus- oder anzogen und dabei die Arme hoben. Im Laufe der Tages ging der Siloxangehalt von Vorstellung zu Vorstellung zurück, weil sich die Düfte langsam verflüchtigten. Bei der Abendvorstellung stieg er aber wieder kräftig an. „Nach der Arbeit haben sich die Leute noch einmal aufgebrezelt“, erklärt sich Williams das.

Besonders beeindruckt war der Atmosphärenchemiker, dass sich in seinen Kurven auch Hinweise auf die Handlung der Filme fanden. Jede spannende oder anrührende Szene führte zu einem kleinen Ausschlag. Und wenn der Film am nächsten Tag abermals lief, zeigte die Kurve exakt denselben Verlauf.

Kohlendioxid und Isopren spielten dabei die größte Rolle. Beim Kohlendioxid verhält es sich wie im Fußballstadion: Erhöhter Puls, Gänsehaut, Muskelspannung – all das beschleunigt die

Atmung und führt zu einem erhöhten Ausstoß an Atemgasen. Beim Isopren scheint es ähnlich zu sein: Die Substanz wird im Muskelgewebe gespeichert, entweicht aber bei Bewegung über die Atemluft. „Wenn wir angespannt oder nervös sind, bewegen wir uns offenbar unwillkürlich“, sagt Williams. „Dann atmen wir auch mehr Isopren aus.“ Und wenn die Zuschauer am Ende des Films aufstehen, schießt die Kurve ebenfalls nach oben. Das war für die Messcrew sehr praktisch, denn sie steckte in den Katakomben des Kinos, ohne den Film sehen zu können. So wussten die Forscher, dass sich der Saal nun leerte.

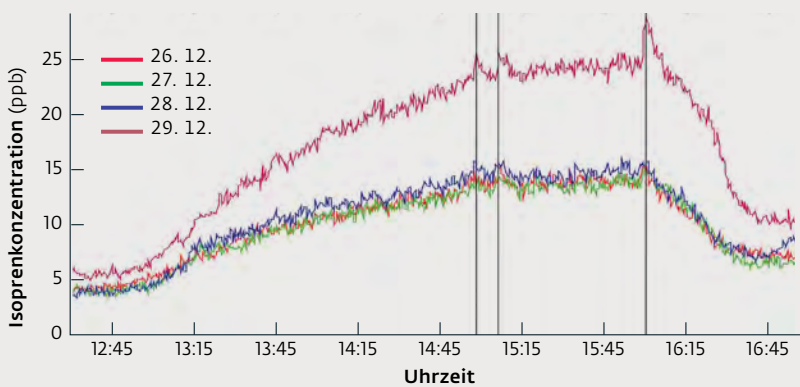
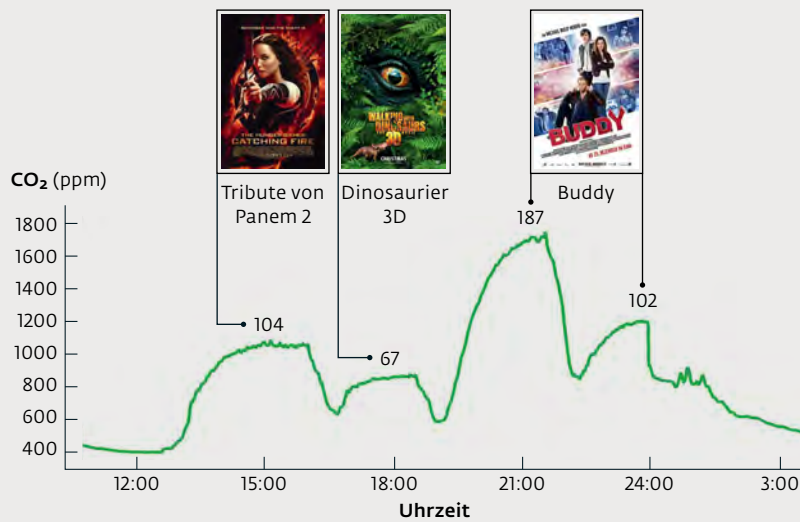
DIE SPANNUNG LAG BUCHSTÄBLICH IN DER LUFT

Während der Messkampagne im Kino kam Williams dann auch noch zu seinem Fußballtor. Denn das Lichtspielhaus übertrug einige Spiele der Fußball-Europameisterschaft von 2016, darunter die Partie Deutschland gegen Italien. Bei den Toren gingen der Kohlendioxid- und der Isoprengehalt jeweils steil nach oben, und beim Elfmeterschießen verdoppelten sich die Werte sogar nahezu. Spannung lag hier buchstäblich in der Luft. Unterschiede gab es nach den To-

Ein außergewöhnliches Fanprojekt: Seit Jonathan Williams in Mainz forscht, ist er Anhänger von Mainz 05. Da lag es nahe, sein Massenspektrometer (links) im dortigen Stadion aufzubauen, um die VOC-Emissionen großer Menschenmengen zu messen – zumal die Arena nur 500 Meter von seinem Institut entfernt liegt.

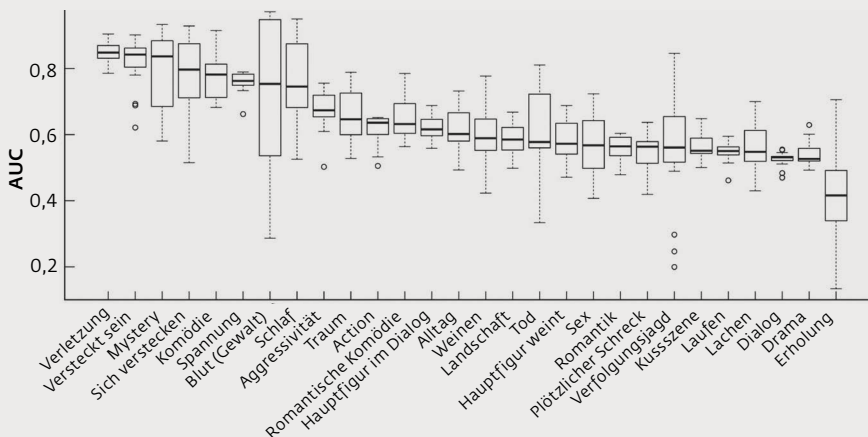
ren von Deutschland und Italien vor allem beim Ethanolgehalt. Nachdem die deutsche Mannschaft in Führung ging, tranken die Leute offenbar auf den Treffer – Ausschlag nach oben. Nach dem Ausgleich blieb es auf den Rängen dagegen nüchtern.

Damit war die Frage, ob sich Gefühle in der Zusammensetzung der Atemluft messen lassen, aber nur teilweise beantwortet. Williams hat deshalb jeden Film seziert und die einzelnen Szenen thematisch geordnet. Die Liste ist lang und reicht von Blut, Tod und Schrei über Traum, Action und Kuss bis zu Landschaft, Unterhaltung und Comedy. Es war nicht leicht, einen Zusammenhang zwischen diesen insgesamt 28 Themen und den mehreren Hundert VOCs zu finden. Von Hand ließ sich das nicht lösen. Williams suchte sich deshalb Hilfe bei Computerspezialisten der benachbarten Universität. Diese Forschergruppe, die sich sonst mit Aktienkursen und



Oben Während der Vorstellungen im Mainzer Multiplex-Kino verfolgte Williams' Team unter anderem die CO₂-Konzentration in der Luft (in Anteilen pro Million – ppm). Wenn die Zuschauer den Saal betreten, nimmt diese zu und erreicht nach einer Weile ein Gleichgewicht zwischen den Emissionen des Publikums und der nachströmenden Frischluft. Je mehr Leute einen Film sehen, desto höher steigt sie – die jeweiligen Besucherzahlen stehen über der Kurve. Die Isoprenkonzentration zeigt während der Vorführungen an vier Tagen immer dasselbe Muster (in Anteilen pro Milliarde – ppb). Beim Film *Tribute von Panem* etwa stieg sie zunächst zweimal an, weil die Zuschauer besonders mit der Hauptfigur mitfieberten. Am Ende nahm sie zu, weil die Zuschauer ihre Plätze verließen.

Unten Verschiedene Filmszenen lassen sich unterschiedlich gut an den Spuren in der Luft erkennen. Ein Maß dafür ist der AUC-Wert (*Area Under the Curve*). Sehr klar ist der Zusammenhang für Verletzungen der Hauptfigur, wenn diese sich versteckt, für Mystery-Szenen und Komödien. Bei 0,5 sagt das VOC-Pofil in der Luft nicht mehr aus als ein erratenes Ergebnis.

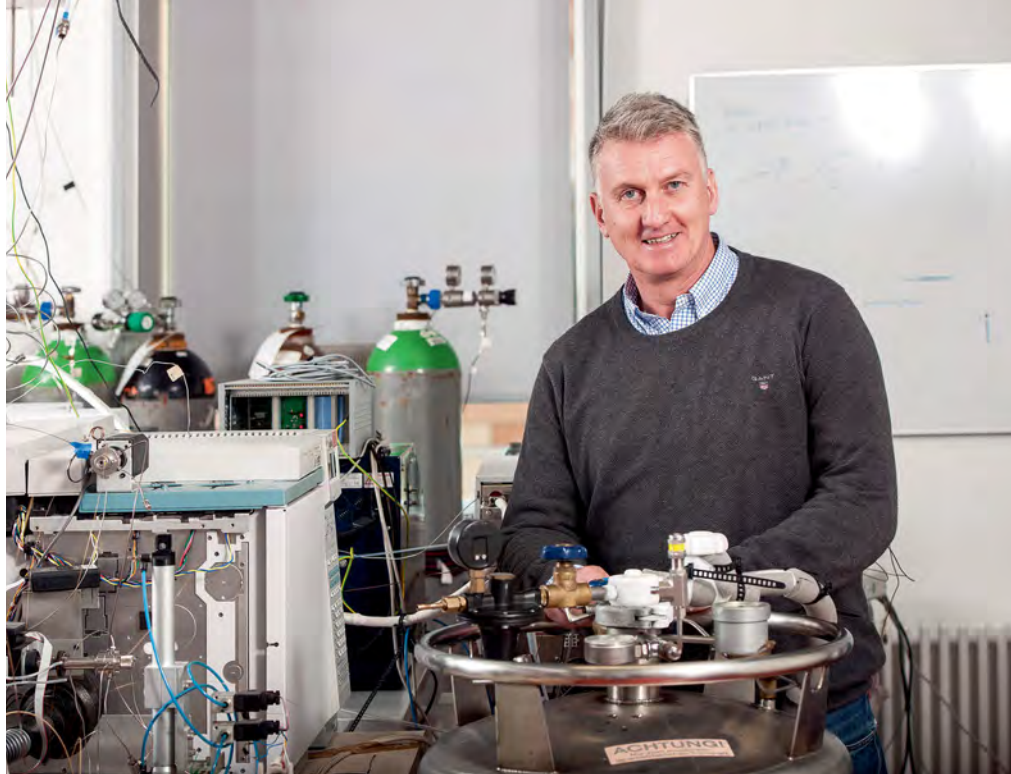


anderen ökonomischen Achterbahnfahrten beschäftigt, machte sich in Williams' Daten auf die Suche nach Spuren einzelner Gefühle in der Atemluft.

Heraus kam eine Statistik, die angibt, wie wahrscheinlich es ist, dass sich bestimmte Szenen in den gemessenen VOCs bemerkbar machen. Am deutlichsten zeigte sich der Zusammenhang, wenn eine Hauptperson verletzt wurde. Mitleid scheint also körperliche Reaktionen zu verursachen. Auch mysteriöse Szenen sowie Verborgenes oder Verheimlichtes waren nachweisbar. Ein eindeutiger Nachweis für bestimmte Gefühle gelang im Kino allerdings nicht, dafür folgten die Emotionen zu dicht aufeinander: Kämpfte der Held eben noch um sein Leben, folgte in der nächsten Minute schon eine Liebesszene.

WILLIAMS KOCHT MIT BEGEISTERUNG

Doch einen Erfolg konnten Williams und sein Team durchaus verzeichnen: Sie entdeckten einen Zusammenhang zwischen der Isoprenkonzentration in der Luft und der FSK-Altersfreigabe. Da der Isoprengehalt die Anspannung der Zuschauer widerspiegelt, gibt er auch einen Hinweis darauf, wie belastend ein Film für Kinder und Jugendliche sein kann. Das könnte der Filmindustrie als objektives Kriterium für die Altersfreigabe dienen, es käme dabei dann nicht mehr nur auf die subjektive Einschätzung eines Gremiums an.



Auch in der Freizeit beschäftigt sich Williams gern mit Gerüchen: Er kocht mit Begeisterung, wobei er sich sogar an die Molekularküche wagt. So kreierte er mithilfe von flüssigem Stickstoff Eis und Schäume. „Kochen ist Chemie“, sagt er. Allerdings schlage sein Herz in der Küche eher für das Resultat als für die Wissenschaft. Und seine drei Kinder – zwei Jungs und ein Mädchen im Alter zwischen acht und zwölf Jahren – hat er längst mit seiner Vorliebe für Gerüche angesteckt: „Die sind sehr gut informiert über VOCs.“

Dem Geruch der Gefühle spürte Jonathan Williams bislang neben seinen eigentlichen Forschungsprojekten in der Atmosphärenchemie nach. So nutzte er für die Messungen in Kinos vor allem die Weihnachtsferien, weil die teuren Geräte dann nur herumstanden und für seine Hauptarbeit, die Atmosphärenchemie, nicht gebraucht wurden. Doch zukünftig ist er wohl nicht mehr auf Ferienzeiten angewiesen. Denn aus der gewissermaßen nebenamtlichen Untersuchung ist ein richtiges Forschungsvorhaben geworden. Die Reaktion der Öffentlichkeit hat Williams beeindruckt. Die Journalisten rennen ihm regelrecht die Tür ein; seine jahrelange Arbeit im Dschungel weckte viel weniger Interesse. Messungen im Fußballstadion und im Kino – darüber wollen offensichtlich alle berichten. Williams schüttelt amüsiert den Kopf.

Er will seine neue Forschungsrichtung auf jeden Fall weiterverfolgen. Als

Nächstes will er einzelne Gefühle gezielt vermessen. Den Nachteil der schnellen Szenenfolge und der Gefühlsprünge, wie sie im Kino üblich sind, möchte er wettmachen. Dazu strebt er eine Zusammenarbeit mit dem Max-Planck-Institut für Psycholinguistik im niederländischen Nijmegen an. Denn dort gibt es ein virtuelles Labor, in dem etwa Polizisten mithilfe virtueller Realität mit beängstigenden Szenarien konfrontiert werden. Hier könnte Williams gezielt nach seinen Gefühlsmarkern suchen, etwa bei virtuellen Achterbahnfahrten oder virtuellen Bedrohungen. Wenn er tatsächlich chemische Marker findet, die Menschen bei bestimmten Gefühlen emittieren, schließt sich freilich eine weitere Forschungsfrage an: Wie reagieren andere Menschen auf diese Substanzen? ◀

Jonathan Williams und sein wichtigstes Messgerät: Mit einer Kombination aus einem Gaschromatografen und einem Massenspektrometer analysieren er und sein Team flüchtige organische Verbindungen in der Luft. Ersterer trennt ein Gemisch von flüchtigen Substanzen in seine Komponenten, und mit Letzterem lassen sich die einzelnen Stoffe identifizieren.

GLOSSAR

Flüchtige organische Verbindungen: Diese VOCs (*Volatile Organic Compounds*) sind Substanzen, die Kohlenstoff enthalten und schon bei gewöhnlichen Umgebungstemperaturen und bei niedrigem Druck verdunsten. Zu ihnen zählen viele Substanzen, die den Geruchssinn anregen.

Massenspektrometer: Das Analysegerät dient dazu, Substanzen zu identifizieren. Die Verbindungen werden zunächst in die Gasphase gebracht und ionisiert, wobei sie oftmals in typische Bruchstücke gespalten werden. Die Teilchen werden anschließend entsprechend ihrem Verhältnis von Masse zu Ladung sortiert, sodass für jede Verbindung ein charakteristisches Spektrum entsteht. Massenspektrometer werden heute oft mit Gaschromatografen kombiniert, die ein Gemisch von Substanzen in die einzelnen Komponenten trennen.

 14 FREUNDLICH 2 FRECH 3 WITZIG 3	 16 FREUNDLICH 3 FRECH 2 WITZIG 3	 27 FREUNDLICH 4 FRECH 4 WITZIG 3	 12 FREUNDLICH 2 FRECH 4 WITZIG 2	 15 FREUNDLICH 2 FRECH 4 WITZIG 3	 13 FREUNDLICH 2 FRECH 2 WITZIG 3	 16 FREUNDLICH 2 FRECH 2 WITZIG 3	 16 FREUNDLICH 2 FRECH 2 WITZIG 3
 14 FREUNDLICH 2 FRECH 3 WITZIG 3	 16 FREUNDLICH 3 FRECH 2 WITZIG 3	 17 FREUNDLICH 2 FRECH 3 WITZIG 4	 18 FREUNDLICH 2 FRECH 4 WITZIG 4	 30 FREUNDLICH 4 FRECH 4 WITZIG 4	 10 FREUNDLICH 2 FRECH 2 WITZIG 2	 10 FREUNDLICH 2 FRECH 2 WITZIG 2	 10 FREUNDLICH 2 FRECH 2 WITZIG 2
 14 FREUNDLICH 2 FRECH 3 WITZIG 3	 ?? FREUNDLICH 4 FRECH 3 WITZIG 2	 17 FREUNDLICH 3 FRECH 3 WITZIG 2	 22 FREUNDLICH 4 FRECH 2 WITZIG 2	 ?? FREUNDLICH 3 FRECH 3 WITZIG 4	 ?? FREUNDLICH 4 FRECH 3 WITZIG 4	 ?? FREUNDLICH 4 FRECH 3 WITZIG 4	?? FREUNDLICH 4 FRECH 3 WITZIG 4

Tippe auf eine Karte, um die Anzahl der gesammelten Früchte zu sehen.



Die Wege kindlicher Wissbegier

Kinder erkunden mit allen Sinnen ihre Umgebung, ihre Neugier kennt keine Grenzen. Ab einem gewissen Alter löchern sie Erwachsene regelrecht mit ihren Fragen. Diese Art des aktiven Lernens gilt vielen als ideal. Bisher ist jedoch kaum bekannt, welche Strategien Kinder von sich aus dabei anwenden. Am **Max-Planck-Institut für Bildungsforschung** in Berlin entwickelt **Azzurra Ruggeri** mit ihrem Team ausgeklügelte Tests, um dem kindlichen Lernen auf die Spur zu kommen.

TEXT **TINA HEIDBORN**

Ein Freitag im Berliner Naturkundemuseum. In einer abgesperrten ruhigen Ecke im hinteren Museumsbereich steht auf einem Tisch die „Wundermaschine“ – eine offensichtlich selbst gebastelte Papp-Pyramide, schwarz bemalt mit aufgeklebten Silbersternchen. Vorne hat sie einen kleinen eckigen Balkon, als Ablage für ein kleines Ei, das rasselt, wenn man es schüttelt. Legt man das Rassel auf den Balkon, fängt auf der Spitze der Pyramide eine bunte Kugel an zu rotieren, leuchtend und mit Geräusch.

Die fünfjährige Marta ist beeindruckt: „Wow“ sagt sie, und, ja, hier möchte sie gerne mitspielen. Was für Marta ein Spiel ist, ist für das Team der Kognitionspsychologin Azzurra Ruggeri am Max-Planck-Institut für Bildungsforschung ein ausgeklügeltes Experiment ihrer Forschungsgruppe „iSearch – Informationssuche, aktives und ökologisches Lernen bei Kindern“.

„Aktives Lernen“ passe bei Kindern besonders gut, sagt die Forscherin. Denn Kinder bewegen sich oft beim Lernen. Zugleich bedeutet „aktiv“ auch: Selbst entscheiden können, *self-directed learning*, wie es in der Fachsprache heißt. Mit „ökologisch“ bezeichnet Azzurra Ruggeri die Fähigkeit, das eigene Lernverhalten anzupassen, flexibel auf Umstände und Erfordernisse zu reagieren und so möglichst effektiv zu lernen. Schon kleine Kinder, nimmt die Psychologin an, sammeln und werten Informationen „ökologisch“ aus und suchen den Lernweg, der am meisten Erfolg verspricht.

Einzelne Teilaspekte des riesigen Untersuchungsfelds, sagt Azzurra Ruggeri, werden inzwischen intensiv erforscht. Zum Beispiel, wie Kinder durch Fragen lernen, an wen sie sich richten und wie viele Informationen sie durch ihre Art zu fragen gewinnen. Denn Kinder erschließen sich mit Fragen die Welt. Laut einer Studie der University

Bunt, aber schwierig: Beim Monsterspiel am Tablet sollen Zehn- und Elfjährige den Zusammenhang erkennen zwischen den Eigenschaften des Monsters – freundlich, frech, witzig – und der Zahl der gesammelten Früchte, die rechts oben auf jeder Karte notiert ist.



Oben Rasselst beim Rütteln: Das Ei (Mitte) wird in einer der bunten runden Schachteln versteckt, die dann im schwarzen oder im weißen Karton verpackt werden. Vorschulkinder sollen das Rasselst durch Schütteln der Kartons oder durch logische Schlüsse ausfindig machen. Bei richtigen Antworten leuchtet und dreht sich die Kugel auf der Spitze der schwarzen Pyramide (links).

Unten Das rasselnde Ei wird entweder in einer festen Reihenfolge in der grünen, blauen, gelben oder roten Schachtel versteckt oder immer in der gleichen Box. Je älter die Kinder sind, desto öfter nutzen sie die Möglichkeit, das Ei durch Schütteln zu finden.

of California, Merced, stellen zwei- bis fünfjährige Kinder im Durchschnitt 76 bis 95 Fragen in einer Stunde Unterhaltung mit einem Erwachsenen.

Die Fragetests, mit denen Azzurra Ruggeri und ihre Mitarbeiter forschen, kommen spielerisch daher: Warum ist das Monster Toma jeden Morgen zu spät in der Schule? Wer lebt auf dem Planeten Apres? Schon kleine Kinder können beurteilen, welche Antworten informativ sind, und nutzen diese zur Problemlösung. Bietet man ihnen zwei verschiedene Puppen als Antwortgeber an, kann man beobachten, dass sie sich an die zuverlässigere Informantin halten. Aber gerade kleinere Kinder im Vorschulalter zu untersuchen, ist schwierig. Und eine Kernaufgabe für die Forschungsgruppe „iSearch“.

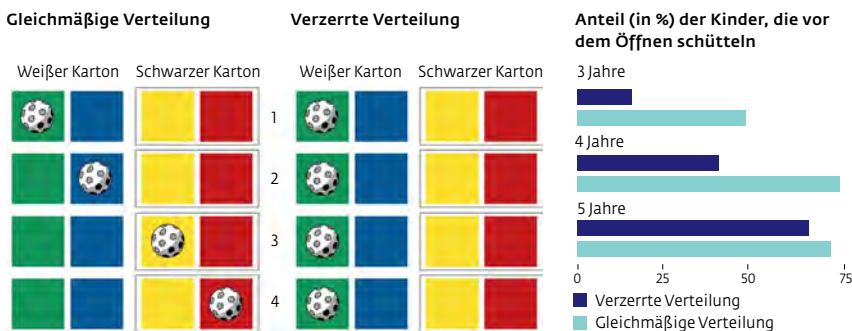
In den Aufgaben, die die Kinder gestellt bekommen, geht es nicht darum,

Leistungen abzurufen, sondern zu sehen, wie sie lernen. Azzurra Ruggeri spricht davon, „das Potenzial des Lernens an sich“ zu untersuchen. So wie Jean Piaget, der Schweizer Biologe und Pionier der kognitiven Entwicklungspsychologie, der die Entwicklung der eigenen Kinder beobachtete und daraus seine grundlegenden Theorien ableitete.

Das Team von „iSearch“ erarbeitet für diese Aufgabe neue Versuchsformen. Eine besondere Herausforderung sind die noch nicht voll entwickelten kognitiven und sprachlichen Fähigkeiten im Vorschulalter. In vielen der üblichen Fragetests schneiden Kinder im Allgemeinen schlechter ab als Erwachsene. Zum Beispiel, wenn es um ihre Effizienz beim Fragenstellen geht.

Dazu werden zwei Arten von Fragen unterschieden: *hypothesis-scanning questions*, also solche, die eine einzelne Annahme überprüfen. Und die sehr viel allgemeineren *constraint-seeking questions*, die eher die Möglichkeiten eingrenzen und damit etwa bestimmte Rahmenbedingungen ermitteln. „Lebt dieser Hund auf dem Planeten Apres?“ Lautet die Antwort darauf „Nein“, ist man nicht viel weiter. Effektiver ist es, mit Fragen wie: „Leben Tiere auf dem Planeten Apres?“ weiterführende Informationen zu sammeln und sich schrittweise anzunähern.

Grundsätzlich fragen Kinder bis sieben Jahre eher konkrete Annahmen ab,





danach schwächt sich diese Tendenz ab, sie verwächst offensichtlich. Erwachsene bevorzugen dagegen eingrenzende Fragen und liefern bessere Ergebnisse in den Tests.

Aber Azzurra Ruggeri und ihre Mitarbeiter konnten zeigen, dass selbst kleine Kinder danach gehen, welche Frage ihnen den größeren Informationsgehalt bringt. Sie haben allerdings Schwierigkeiten, selbstständig eingrenzende Fragen zu entwickeln – je jünger die Kinder sind, desto stärker. Gibt man vier- bis fünfjährigen Kindern aber beide Fragetypen vor, entscheiden sie sich schon in diesem Alter überwiegend für die allgemeinere, eingrenzende Frageart, wenn diese effektiver ist. Offenbar können sie schon den erwarteten Informationsgewinn der unterschiedlichen Arten von Fragen abschätzen.

Kategorisierende Fragen verlangen viel Abstraktionsarbeit im Vorfeld. „Dazu muss man erst einmal Merkmale als Kriterien identifizieren, gewichten, anwenden“, erläutert Azzurra Ruggeri, „das ist superschwierig.“ Wenn kleine Kinder also in bestimmten Fragetests nicht besonders gut abschneiden, dann bedeutet dies keineswegs, dass sie ineffektiv lernen.

Azzurra Ruggeri zitiert an dieser Stelle ihren Doktorvater, den renommierten Psychologen Gerd Gigerenzer: Ein Hammer sei ein gutes Werkzeug, wenn man

einen Nagel in die Wand schlagen will, aber nicht so gut, wenn man eine Schraube vor sich hat. Um Probleme zu untersuchen, braucht man geeignete, fallspezifische Methoden. Deshalb lassen die Doktorandin Nora Swaboda und die Studentin Eva Kell im Berliner Naturkundemuseum die fünfjährige Marta nach dem rasselnden Ei suchen. Und die macht begeistert mit, obwohl sie ja eigentlich nur ins Museum wollte.

SCHON KLEINE KINDER NUTZEN WAHRSCHEINLICHKEITEN

Trainingsphase. Zunächst „versteckt“ Eva Kell das Ei – Marta darf zusehen – in einer von vier kleinen runden Schachteln, von denen jede eine andere Farbe hat. Zwei der Schachteln stecken jeweils in einem größeren eckigen Karton – einem weißen und einem schwarzen. In der sogenannten „skewed condition“ legt Eva Kell das Rassel ei immer in die selbe Schachtel, zum Beispiel in die grüne links außen. Im anderen Ablauf („uniform condition“) wird das Ei in jedem Trainingsdurchgang in eine andere Schachtel gelegt, von links nach rechts in die jeweils nächste. In der „skewed condition“ lernt das Kind also, dass das Ei wahrscheinlich in der linken äußersten Schachtel zu finden ist – anders als in der „uniform condition“, in der das Ei jedes Mal woanders ist.

Spielerische Herausforderung: Silvia Martín Lence, studentische Hilfskraft, erklärt einem der jungen Probanden die Regeln des Lernspiels auf dem Tablet.

Für den eigentlichen Test verschließt Eva Kell dann die zwei großen eckigen Kartons. Anhand der beiden Kartons lernt Marta von der Studentin, dass es zwei Suchmethoden gibt: Schütteln oder Öffnen. Öffnen entspricht dem Abfragen einer Annahme, zuerst Schütteln ähnelt dem vorsichtigeren Weg der eingrenzenden Frage. Macht man einen der beiden größeren Kästen auf, hilft das zunächst nicht, denn man guckt wieder auf verschlossene Schachteln. Schüttelt man einen der Kästen, kann man hören, ob das rasselnde Ei enthalten ist. Wenn Lernen bedeutet, Wissen zu sammeln, um Unsicherheit abzubauen und die Vorhersagbarkeit zu erhöhen, kommt man mit Schütteln oft weiter als mit Aufmachen.

Es sei denn, man hat eine starke Vermutung, zum Beispiel dadurch, dass eine Lösung wahrscheinlicher ist als die anderen. „Wenn man nicht weiß, wo das Ei liegt, ist es sinnvoll, den größeren Kasten zu schütteln, damit man nicht riskiert, den falschen Kasten zu öffnen. Wenn man aber ahnt, wo das Ei liegt, weil der Tester ihn immer in derselben Schachtel versteckt, kann man den größeren Kasten gleich auf-



machen und dann die kleinere Schachtel. Man hat eine starke Lösungsvermutung, der man nachgeht, und kann so einen schnellen Erfolg erzielen“, erläutert Azzurra Ruggeri. Schon kleine Kinder, so die Wissenschaftlerin, verstehen Wahrscheinlichkeiten und beziehen sie in ihre Überlegungen ein. Auch das weiß man mittlerweile.

Obwohl Marta in der *skewed condition* gelernt hat, dass das Ei immer in derselben äußeren linken Schachtel liegt, entscheidet sie sich dennoch dafür, den linken großen Kasten zu schütteln. Es rasselt. Nach kurzem Zögern öffnet sie die runde kleine Schachtel ganz links. Marta legt das gefundene Rasselei in die Wundermaschine und guckt stolz, als die Kugel auf der Pyramide leuchtend zu rotieren beginnt.

Danach ist ihr Freund Jonathan an der Reihe, auch er ist fünf Jahre alt. Wieder versteckt Eva Kell das Rasselei in der kleinen Schachtel am linken Rand – *skewed condition*. Jonathan macht zielstrebig den großen Kasten und die richtige runde Schachtel auf. Erneut setzt sich die Wundermaschine in Bewegung.

Ein Ergebnis der Untersuchungen: In der *uniform condition*, also wenn das Ei in verschiedene Schachteln gesteckt wird, entscheiden sich insgesamt mehr Kinder in allen Altersgruppen für das Schütteln als für das Aufmachen der größeren Kästen. Sie reagieren auf die Umstände und beziehen die höhere Unsicherheit als Faktor ein. Nach Azzurra Ruggeri ein Merkmal für ökologisches Lernen.

EINE GEFAHR IST, DIE KINDER UNGEWOLLT ZU BEEINFLUSSEN

Blickt man auf die einzelnen Altersgruppen, so gibt es ein weiteres Ergebnis: Von den Dreijährigen machen zwei Drittel die größeren Kästen sofort auf. Von den Vier- und Fünfjährigen schüttelt dagegen mehr als die Hälfte. Insgesamt tendieren Kinder, je kleiner sie sind, eher zum Aufmachen als zum Schütteln. Das deckt sich mit den Ergebnissen der gängigen Fragetests, in denen Kinder – je kleiner, desto ausgeprägter – die weniger effektiven Fragen nach einer Annahme bevorzugen.

Azzurra Ruggeri erzählt, dass sie besonders das Entwickeln der empirischen

Studien reizt. Das klingt nach logischer Tüftelei: extrem gut durchdacht im Vorfeld und fein nuanciert. Wie muss ich das vermeintliche Spiel aufbauen, um was untersuchen zu können? Wenn ich an dieser Stelle diese Antwort bekomme – welche Entscheidungsmöglichkeiten biete ich dann an, und was bedeutet das? Man braucht eine einfache und saubere Verpackung für hochkomplexe Grundlagenforschung.

Viele von Azzurra Ruggeris Versuchen sind sehr detailliert und werden in mehreren Varianten durchgeführt. Die Ergebnisse wirken bisweilen recht kleinteilig, sind aber unverzichtbar, um ein wissenschaftlich abgesichertes Bild vom kindlichen Lernprozess zu entwickeln. Ruggeri kann sich vorstellen, später auch das Lernen in älteren Lebensphasen zu untersuchen. Demnächst will sie aber erst einmal die ganz Kleinen in den Blick nehmen – indem sie mit einem Eye-Tracking-Verfahren verfolgt, wohin Babys ihre Aufmerksamkeit lenken.

Alle Tests müssen sich in der Studienphase als praxistauglich erweisen: Die Kinder müssen gerne mitmachen, wobei das Spiel nicht zu lange dauern darf. Deshalb sind ausgedehnte Pilotphasen

Altersgerechte Aufbereitung: Wichtig ist, dass Kinder die Tests, in denen ihr Lernverhalten beobachtet wird, gerne mitmachen. Dazu gehören etwa die sympathisch dargestellten Monster, deren besondere Kräfte sie nur durch geschicktes Fragen herausfinden können.

keine Seltenheit, in denen das Team den Versuchsaufbau noch in Details modifiziert und damit verbessert. Denn je kleiner die Kinder, desto größer die Gefahr, sie unbeabsichtigt in ihren Entscheidungen zu beeinflussen. Sie hätten zum Beispiel lange und bis in die kleinsten Kleinigkeiten daran gefeilt, wie sie die Kinder das Rasselei suchen lassen, erzählt die Doktorandin Nora Swaboda.

Nichts von dem, was Eva Kell als Testerin im Berliner Naturkundemuseum macht, ist spontan, jede Handlung genau festgelegt: Selbst die Worte, mit denen die Studentin den Kindern das Spiel erklärt, sind auswendig gelernt – immer dieselben in immer derselben Reihenfolge mit derselben Betonung, aber bitte ohne roboterhaft zu wirken. Ganz am Ende erinnert Eva Kell die Kinder an die beiden Methoden – Schütteln oder Aufmachen. Dabei sagt sie abwechselnd: „Du kannst die Kästen schütteln oder aufmachen“ und im nächsten Testdurchlauf: „Du kannst die Kästen aufmachen oder schütteln“. Denn je nachdem, mit welchem Wort sie endet, entscheiden sich auffällig viele Kinder für diese Methode – vermutlich einfach weil sie zuletzt genannt wurde.

Mangel an mitmachwilligen Kindern und Eltern hat das Team an diesem Freitagvormittag nicht. Die Idee, für die Tests in Museen zu gehen, hat Azzurra Ruggeri aus Amerika mitgebracht, wo sie zwei Jahre an der University of California, Berkeley, forschte. Neben der Wundermaschine liegt im Berliner Naturkundemuseum noch ein Tablet mit einer Art Kartenspiel für Zehn- und Elfjährige bereit. Hier wird untersucht, wie die Kinder Informationen sammeln, um zu lernen: Sie müssen eine Beziehung zwischen verschiedenen Fakten herstellen, um erfolgreich Punkte zu sammeln.

Auf dem Tablet sind 27 Spielkarten zu sehen, jede zeigt ein anderes Monster. Jedes Monster hat drei tabellenartig untereinander aufgeführte Eigenschaften, („freundlich“, „frech“, „lustig“), die jeweils mit ein bis fünf Punkten bewertet sind. Außerdem weist jede Monsterkarte rechts oben in der Kartenecke noch eine weitere zweistellige Zahl auf, die zunächst abgedeckt ist: Das ist die Zahl der Früchte, die das Monster gepflückt hat. Welcher Zusammenhang besteht zwischen den Eigenschaften eines Monsters und der Zahl der Früchte?

Schon ein kurzer Blick auf den mit Monsterkarten gefüllten Tablet-Bildschirm macht klar: schön bunt, aber schwierig. Wer hier mitspielt, ist mit einer ziemlich komplexen Lernumgebung konfrontiert, sehr vielen kleinteiligen Informationen, aus denen man Rückschlüsse ziehen muss – große Unsicherheit. In einem der Tests sollen die Kinder schätzen, wie viele Früchte ein Monster wohl gepflückt hat. Für jede richtige Antwort bekommen sie zehn Cent, denn anders als bei kleineren Kindern funktioniert bei älteren ein Taschengeld am besten als Anreiz zum Mitmachen.

NUR EIN MATHEPROFESSOR ERREICHTE ALLE PUNKTE

Von dem Test gibt es zwei unterschiedliche Varianten: In der „aktiven“ Ausführung darf der Monsterforscher aussuchen, welche Karten er auf dem Tablet anklickt, um sich den verdeckten Früchtewert zeigen zu lassen. In der „passiven“ Variante werden die Monsterkarten, deren Früchtewert man sehen darf, nach dem Zufallsprinzip vorgegeben. Gibt es, je nach Variante, unterschiedliche Lernerfolge? Welche Wege schlagen die Kinder beim Informationssammeln ein?



Die Wissenschaftler beobachten unter anderem, welche Karten die Kinder in der aktiven Variante aussuchen. Bevorzugen sie, um Rückschlüsse darauf zu ziehen, wie viele Früchte ein Monster gepflückt hat, zum Beispiel Karten, bei denen die Monster extrem hohe oder extrem niedrige Eigenschaftswerte haben? Also Karten mit einem sehr hohen oder sehr niedrigen Wert bei einer der drei Monstereigenschaften „freundlich“, „frech“ und „lustig“?

Tatsächlich lässt sich diese Tendenz beobachten, wobei viele Teilnehmer zunächst Karten aussuchen, bei denen der zuoberst aufgeführte Eigenschaftswert „freundlich“ des Monsters extrem hoch oder niedrig ist, dann Karten, bei denen der in der Mitte geschriebene Eigenschaftswert „frech“ extrem ist, zuletzt Karten, die an der untersten Stelle bei „lustig“ einen extremen Wert haben. Aber für allgemeinere Aussagen ist es zu früh, denn die Studie läuft noch, und die Wissenschaftler sind noch in der Phase des Datensammelns.

In einem anderen Projekt hat die Gruppe von Azzurra Ruggeri aber bereits gezeigt, dass Kinder ab sieben Jahren unter aktiven Lernbedingungen bei einem Wiedererkennungsspiel besser



Psychologin mit Hang zu logischer Tüftelei: Max-Planck-Forschungsgruppenleiterin Azzurra Ruggeri entwickelt ausgefeilte Versuche, um das kindliche Lernverhalten zu untersuchen.

abschneiden als in einer passiveren Testvariante – und damit die Vorteile aktiven Lernens belegt.

Bei dem Tablettspiel gehen viele der Zehn- und Elfjährigen mit rund sechs Euro und mehr nach Hause. Nicht viel weniger als die Erwachsenen, mit denen Doktorandin Angela Jones den Test vorher durchgeführt hat. Maximal kann man sieben Euro gewinnen. Bei den kleineren Kindern, die Angela Jones auch schon getestet hat, den Siebenjährigen, waren diejenigen, die bereits in der zweiten Klasse waren, oft deutlich besser als die, die in die erste Klasse gingen. Vermutlich hat den Zweitklässlern ihr besseres Mathewissen geholfen. „Die mathematischen Fähigkeiten spielen eine Rolle“, sagt die Doktorandin Angela Jones, „aber auch das intuitive Lernen.“ Der einzige Proband, der je mit den vollen sieben Euro belohnt wurde, war ein Mathematikprofessor.

Onyun, ein Elfjähriger aus der Schweiz, ist sehr zufrieden mit seinen 5,80 Euro, die er gerade in die Hosentasche steckt. Wie hat er es gemacht? „Geraten und auf Glück gespielt“, das

sagt er zumindest. Die Auswertung der erhobenen Daten wird mehr Einblick ermöglichen.

„Ich wollte etwas machen, worauf man Antworten finden kann“, sagt die Psychologin Azzurra Ruggeri. In Italien hat sie fünf Jahre Philosophie studiert, Schwerpunkt: Logik, Wissenschafts- und Entscheidungstheorie. Bis es ihr zu abstrakt wurde. Sie wollte sich nicht mehr nur aus logisch-philosophischer Sicht mit Entscheidungs-

theorie auseinandersetzen. So wechselte sie zur Psychologie und kam nach Deutschland. Und schon als Leiterin von Pfadfindergruppen hat sie sich gern mit Kindern beschäftigt.

Mit „iSearch“ machen Ruggeri und ihre Mitarbeiter jetzt empirisch gestützte Grundlagenforschung. Dahinter steht die Vision, dass die Erkenntnisse später in der Praxis Anwendung finden – immer dort, wo Kinder lernen. Gerade hat Azzurra Ruggeri zusätzlich eine Professur für Entwicklungs- und Kognitionspsychologie an der Technischen Universität München angenommen, angesiedelt in der Bildungsfakultät, wo Psychologen, Erziehungs- und Neurowissenschaftler die Erkenntnisse aus ihren verschiedenen Disziplinen zusammenbringen.

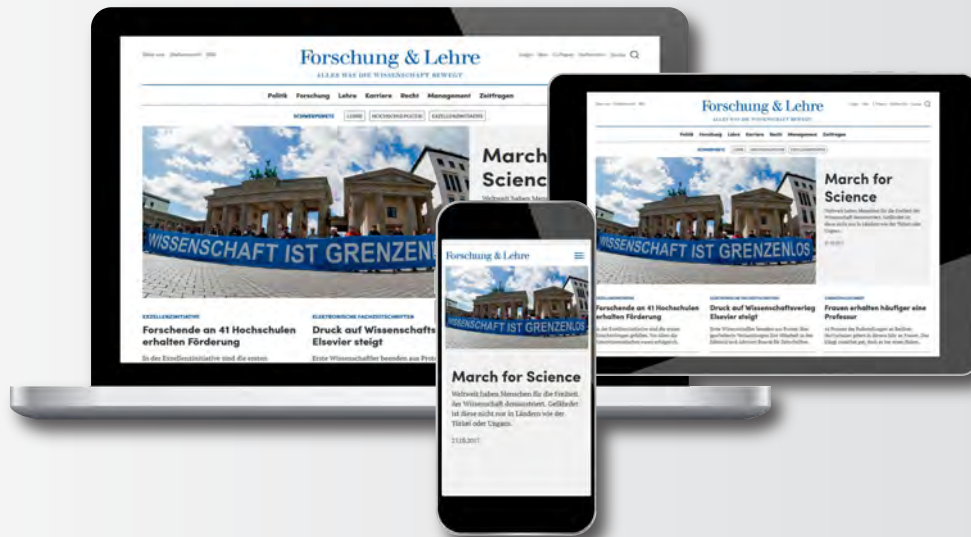
Dahin, so hofft die Wissenschaftlerin, geht die Entwicklung. Denn obwohl aktives und selbstständiges Lernen gern propagiert wird, sind die wissenschaftlichen Erkenntnisse, wie Kinder lernen, noch sehr begrenzt. „Viele Mythen und Annahmen“, so fasst es Azzurra Ruggeri zusammen. Ihr Ziel ist, die empirische Forschung auszuweiten, mehr Erkenntnisse darüber zu gewinnen, wie der Mensch lernt, und diese dann auch in die Anwendung zu bringen. So soll die Grundlagenforschung, die sie so spielerisch verpackt, später dazu beitragen, Kindern das Lernen, zum Beispiel in der Schule, zu erleichtern. Denn nur wenn man detailliert weiß, wie dieser komplexe Prozess abläuft, kann man ihn gezielt unterstützen. ◀

AUF DEN PUNKT GEBRACHT

- Wie Kinder aktiv vorgehen, um zu lernen, lässt sich nur mithilfe einer Vielzahl von Beobachtungen und Tests ermitteln. Bisher gibt es erst einzelne Erkenntnisse.
- Kinder im Vorschulalter können bereits effektive Fragen von weniger effektiven unterscheiden. Etwa ab sieben Jahren sind sie in der Lage, abstrahierende Fragen selbst zu formulieren.
- Wenn es unterschiedliche Handlungsoptionen gibt, wählen ältere Kinder eher das zweckmäßige Vorgehen als ganz junge. Aber schon ab einem Alter von vier bis fünf Jahren wendet die Mehrzahl der Kinder die Methode an, die mehr Erfolg verspricht.
- Grundschulkindern schneiden bei Wiedererkennungsspielen besser ab, wenn sie sich die nötigen Informationen aktiv suchen dürfen.
- Ein Ziel der Forschung ist, Kindern das Lernen in der Schule zu erleichtern.

NEUE WEBSITE

Forschung & Lehre



Die neue Website von Forschung & Lehre, der auflagenstärksten hochschul- und wissenschaftspolitischen Zeitschrift Deutschlands, ist online!

Im modernen und responsiven Design erwarten Sie

- aktuelle Nachrichten
- Hintergrundberichte
- Interviews und Essays

zu Hochschulpolitik, Forschung, Lehre, Karriere, Recht, Management und über gesellschafts- und kulturpolitische Fragen.

Dazu kommen Ratgeber über Karriereperspektiven und Karrierepraxis in Hochschule und Wissenschaft sowie Meldungen über aktuelle Habilitationen und Berufungen.

Das alles jederzeit, tagesaktuell und optimiert für jedes Endgerät.

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

Schauen Sie vorbei auf:

www.forschung-und-lehre.de

In der Gluthölle der Sonne

Sie sahen aus wie überdimensionierte Garnrollen, steckten voller Technik aus mehreren Max-Planck-Instituten und sollten unser Verständnis der Sonne und des interplanetaren Mediums erheblich erweitern: Vor mehr als 40 Jahren wurden die beiden **Helios-Sonden** gestartet und auf eine gewagte Mission in die Hitze unseres Heimatsterns geschickt. Die beiden Raumfahrzeuge stehen aber auch für eine erfolgreiche wissenschaftliche Zusammenarbeit über Ländergrenzen hinweg.

TEXT **HELMUT HORNING**

10. Dezember 1974, Launch Complex 41, Cape Canaveral, USA. Auf der Startrampe ragt eine Rakete vom Typ *Titan 3E Centaur* empor. Der Countdown läuft planmäßig. Als er auf null heruntergezählt ist, hüllt sich die Rakete in weißen Rauch, Sekunden später reitet sie auf einem Feuerstrahl in den Himmel über Florida. Die Triebwerke beschleunigen das Vehikel auf eine Geschwindigkeit von mehr als 14 Kilometern pro Sekunde. Dieses höllische Tempo ist notwendig, um die wertvolle Fracht in der Raketenspitze sicher ans Ziel zu bringen – in die Nähe der Sonne. Die Fracht, das ist die Raumsonde *Helios 1*. Amerikanische und deutsche Forscher setzen große Erwartungen in das Unternehmen.

Begonnen hat alles schon im Jahr 1966. Damals unterzeichnen Bundeskanzler Ludwig Erhardt und US-Präsident Lyndon B. Johnson ein Abkommen über eine gemeinsame Mission im Planetensystem. Die beiden Partner sind ausgesprochen ungleich: Auf der einen Seite die Amerikaner, die sich mitten im Kalten Krieg mit der UdSSR ein Wettrennen zum Mond liefern und bereits große Erfolge in der Raumfahrt verbuchen können; auf der anderen Seite die Deutschen, die in diesem Bereich praktisch über keinerlei Erfahrung verfügen und bis dato nicht eine einzige eigene Sonde gebaut haben.

Das Ziel der Mission lässt man zunächst bewusst offen, die Wissenschaftler sollen sich darüber die Köpfe zerbrechen. Und hier kommt das damalige Max-Planck-Institut für Physik ins Spiel. Dort leitet Anfang der 1950er-Jahre Ludwig Biermann die Abteilung für Astrophysik. Aus der stets ähnlichen Form von Kometenschweifens schließt der Forscher, dass die Sonne ständig einen unsichtbaren Strom von elektrisch geladenen Teilchen ins All bläst. Die sowjetische Sonde *Lunik 1* weist auf ihrem Weg zum Mond diesen sogenannten Sonnenwind 1959 tatsächlich nach; er besteht vor allem aus Protonen und Elektronen sowie aus Helium-4-Kernen. Jetzt, ein Jahrzehnt später, will man den solaren Wind sowie die Verhältnisse in Sonnennähe genauer unter die Lupe nehmen und die Wechselwirkungen zwischen dem Zentralgestirn und unserem Planeten untersuchen.

Im Juni 1969 wird der Vertrag über die Mission offiziell ratifiziert und näher definiert. Es sollen zwei mehr oder weniger identische Sonden ins All geschossen werden. Man benennt sie nach dem griechischen Gott, der täglich seinen von vier feurigen Hengs-

ten gezogenen Sonnenwagen über den Himmel lenkt und der Erde damit Licht und Wärme spendet: *Helios*.

Gebaut werden die Raumsonden bei der Firma Messerschmitt-Bölkow-Blohm als Hauptauftragnehmer, in enger Zusammenarbeit mit dem Bundesministerium für Forschung und Technologie sowie der Deutschen Forschungs- und Versuchsanstalt für Luft- und Raumfahrt. Sieben der insgesamt zehn Experimente an Bord entwickeln deutsche Wissenschaftler, vier Messgeräte stammen aus den Max-Planck-Instituten für Aeronomie, Astronomie, Kernphysik und extraterrestrische Physik. Die US-Raumfahrtbehörde NASA liefert die beiden Trägerraketen und stellt ihr Deep Space Network für die Kommunikation mit den Sonden bereit. Das Projekt kostet insgesamt 700 Millionen Mark, der deutsche Anteil beträgt 450 Millionen.

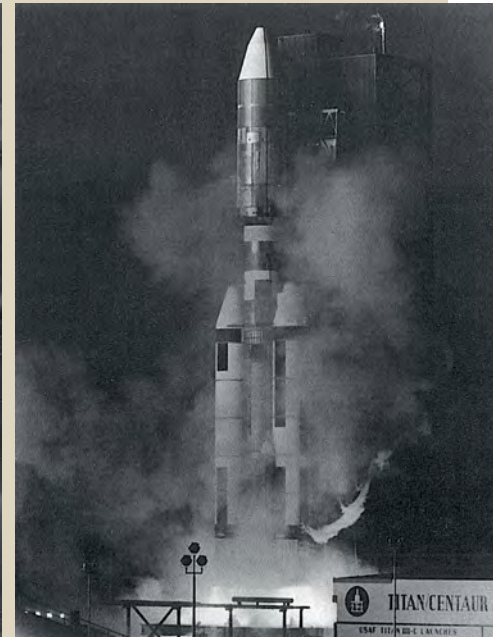
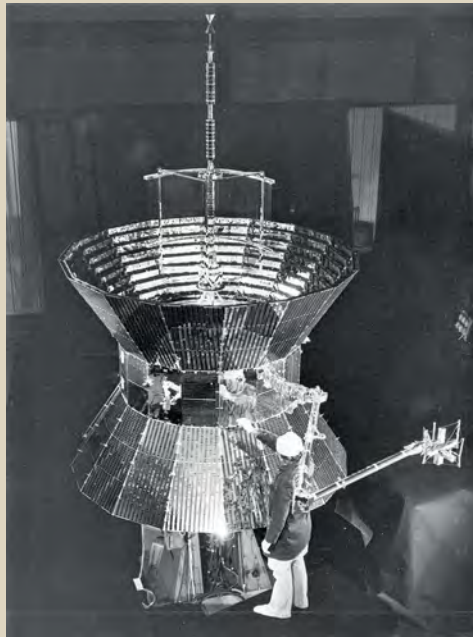
Dabei geht es der Bundesrepublik nicht nur um wissenschaftliches Know-how. In den frühen 1970er-Jahren will man außerdem die Kenntnisse auf technologischem Gebiet sowie im Management großer Projekte erweitern mit dem Ziel, später einmal nationale und internationale Forschungsprogramme durchziehen zu können. Mit *Helios* betreten die Verantwortlichen also in jeder Hinsicht Neuland.

„Das war schon eine mutige Geschichte ohne große Risikoabschätzung“, erinnert sich Eckart Marsch. Der Physiker kam 1976 als Postdoc in die Gruppe von Helmut Rosenbauer an das Max-Planck-Institut für extraterrestrische Physik in Garching und beschäftigte sich in den folgenden Jahren mit der Auswertung von Daten des Plasmaexperiments und des Instruments für Magnetfeldmessungen. Allein schon die Bahnen waren ein Wagnis, denn sie führten die Sonden näher als 50 Millionen Kilometer an die Sonne heran. In dieser Entfernung waren die irdischen Späher der bis zu elffachen Hitze im Vergleich zur Erde ausgesetzt und heizten sich auf mehr als 350 Grad Celsius auf – eine Temperatur, bei der Blei schmilzt.

„Die Form der Sonden hatte wärmetechnische Gründe“, sagt Marsch. Kurz: Die mehr als zwei Meter hohen und 370 Kilogramm schweren „Garnrollen“ waren mit optischen Reflektoren – sogenannten Kaltspiegeln – überzogen, die etwa 90 Prozent des auftreffenden Lichts zurückwarfen. Unter der Haut der gesamten Innenseite steckte eine Isolierung. Schließlich drehten sich die Garnrollen einmal pro Sekunde um ihre Achsen, um die einfallende

Links Überdimensionale Garnrolle: Die Form von *Helios* hat wärmetechnische Gründe. Der Außenkörper der Raumsonde ist abwechselnd mit speziellen Spiegeln und Solarzellen zur Energieversorgung bedeckt.

Rechts Gelungener Start: Pünktlich hebt die Rakete vom Typ *Titan 3E Centaur* ab, um *Helios 1* in Sonnennähe zu bringen. Die Mission ist sehr erfolgreich, ebenso die ihres Zwillings *Helios 2*. Auch eine dritte Sonde wurde gebaut; sie flog aber nicht in den Weltraum, sondern landete im Deutschen Museum in München.



Wärme gleichmäßig über die Oberfläche zu verteilen und einen „Sonnenbrand“ zu vermeiden. Aufgrund aller dieser Maßnahmen waren die Raumfahrzeuge so gut isoliert, dass die Temperaturen im Innern nie über 30 Grad Celsius stiegen und die Sonden am sonnenfernsten Punkt ihrer Bahn sogar beheizt werden mussten.

Nach dem reibungslosen Start und einer dreimonatigen Reise erreicht *Helios 1* (manche Autoren schreiben *Helios A*) am 15. März 1975 den sonnennächsten Punkt ihrer Bahn. Mit einer Rekordgeschwindigkeit von mehr als 252000 Kilometern pro Stunde rast die Sonde im Abstand von 46,29 Millionen Kilometern an der Sonne vorbei, das entspricht ungefähr einem Drittel der Erdentfernung zum Tagesgestirn. Zwei Tage später zeigen sich die Wissenschaftler um Projektleiter Herbert Porsche im Kontrollzentrum Oberpfaffenhofen zufrieden. „Alle Komponenten der Sonde arbeiten einwandfrei“, sagt Porsche damals. *Helios* übertreffe „auch im Hinblick auf die Qualität der Daten“ die Erwartungen.

SÜDDEUTSCHE ZEITUNG VOM 18. März 1975



Mit Überraschung und Erstaunen haben die beteiligten Wissenschaftler den Vorbeiflug der deutsch-amerikanischen Sonnensonde *Helios* an dem Tagesgestirn verfolgt.

Auf einer schnell einberufenen Pressekonferenz werden erste wissenschaftliche Ergebnisse vorgestellt. So etwa bläst der Sonnenwind heftiger als erwartet: Er bewegt sich mit einer Geschwindigkeit von bis zu 850 Kilometern pro Sekunde durch den interplanetaren Raum, schwankt relativ stark in seiner Intensität und zeigt ungewöhnlich rasche zeitliche und örtliche Änderungen. Zudem weist er wesentlich höhere Temperaturen auf als angenommen und unterliegt einem 27-tägigen Rhythmus, entsprechend der Rotation der Sonne. Die Anzahl der interplanetaren Staubteilchen steigt nahe dem Stern im Vergleich zur Erdentfernung auf das Zehnfache. Und der „Schutzwall“ des solaren Magnetfelds ist so dicht, dass ihn die niederenergetische kosmische Strahlung nicht durchdringen kann.

Helios 1 untersucht gezielt auch das Zodiakallicht – jene diffuse Leuchterscheinung, die sich in unseren Breiten nach Sonnenuntergang im Westen oder vor Sonnenaufgang im Osten beob-

achten lässt. Hinter diesem Phänomen stecken Reflexion und Streuung von Sonnenlicht an Partikeln der interplanetaren Staub- und Gaswolke, welche das Tagesgestirn als dünne Scheibe in der Planetenebene ringförmig umgibt. Das „Experiment 9“ an Bord der Sonde registriert beim Anflug an die Sonne keine wesentliche Änderung der Farbe des Zodiakallichts. Daraus schließen die Forscher, dass die nur wenige Tausendstelmillimeter großen Teilchen entgegen den Erwartungen nahe der Sonne nicht kleiner geworden sind. Allerdings steigt die Helligkeit des Zodiakallichts im Vergleich zur Erde offenbar auf das 15-Fache.

Genau zehn Monate nach dem spektakulären Rendezvous im inneren Planetensystem startet die Zwillingssonde *Helios 2* (*Helios B*). Mit 43,5 Millionen Kilometer Distanz kommt sie sogar noch ein wenig dichter an die Sonne heran als *Helios 1*. Auch hier läuft die Kommunikation über die drei großen 64-Meter-Antennen des Deep Space Network der NASA, über die 100-Meter-Schüssel des Max-Planck-Instituts für Radioastronomie in Effelsberg in der Eifel sowie – als Sendestation – über die 30-Meter-Antenne im oberbayerischen Weilheim.

Eine derartige Doppelmission hatte es noch nie gegeben. „Einzigartig war aber auch die Tatsache, dass keine Mission zuvor und danach In-situ-Messungen aus einer derartigen Sonnennähe gemacht hat“, sagt Eckart Marsch. Entsprechend positiv sei damals die Stimmung im *Helios*-Team gewesen. Dazu kam die Lebensdauer der Sonden: Ursprünglich für 18 Monate konzipiert, arbeitete *Helios 2* bis Dezember 1981, *Helios 1* sogar bis März 1986, also länger als zehn Jahre. „Genau genommen ist die Mission immer noch nicht tot“, sagt Marsch. „Denn noch heute werden wissenschaftliche Daten ausgewertet, etwa an der Universität Kiel.“

In der Tat ist in den vergangenen 40 Jahren keine Raumsonde mehr so nahe an die Sonne geflogen wie *Helios*. Das soll sich ändern: Am 12. August 2018 startete die US-Raumfahrtbehörde die *Parker Solar Probe*. Nach verschiedenen komplizierten Bahnmanövern wird sie sich der Sonne in einigen Jahren bis auf knapp sechs Millionen Kilometer annähern und ihre äußeren Atmosphärenschichten erforschen. Schon Anfang November dieses Jahres erreicht die Sonde eine Distanz von rund 25 Millionen Kilometern. Dann wird der Rekord der legendären *Helios*-Kundschafter gefallen sein.



Alltag in Zeiten des Terrors

Hans Medick, **Der Dreißigjährige Krieg**, Zeugnisse vom Leben mit Gewalt

448 Seiten, Wallstein Verlag, Göttingen 2018, 29,90 Euro

„Eure und der Eurigen böse Begierden, Eure eigenen schädlichen Neigungen, Eure Ratgeber, lasterhaften Gemüter und verführerischen Herzen sind die Ursache allen Tumults und Unwesens: und in dem ein jeder seinen unziemlichen Neigungen nachhängt, so wird die allgemeine Wohlfahrt beleidigt und geht alles darüber zu Grund und Boden.“ Völlig unverblümt klagt Friedrich von dem Werder in seiner sogenannten Friedensrede aus dem Jahr 1639 Fürsten, Kleriker und Militärs an und weist ihnen die Schuld an dem „großen Krieg in Teutschland“ zu. Dieser wütete da schon mehr als 20 Jahre, zehn weitere sollten noch folgen.

Friedrichs als Theaterstück in Szene gesetzte Rede ist Anklage und Appell an die Mächtigen zugleich. In eindringlichen Worten beschreibt der Autor Not und Elend in Deutschland und fordert sie auf, ihren Kampf um Macht und Geld einzustellen und Frieden zu schließen. Das Schriftstück ist eines von rund 50 Berichten, Tagebuchnotizen und Zeitungsartikeln von Zeitzeugen, die der Historiker Hans Medick für sein neues Buch gesammelt und ausgewertet hat – einige davon werden hier erstmals veröffentlicht. Er stellt den Kapiteln Einleitungen voran, in denen er die Augen- und Zeitzeugenberichte analysiert und in das Zeitgeschehen einordnet.

Anders als viele der zum 400. Jahr nach dem Beginn des Dreißigjährigen Kriegs veröffentlichten Werke präsentiert Medick keine epische Gesamtdarstellung des Krieges. Vielmehr wechselt er die Perspektive:

Nicht Schlachten, Fürstenhäuser und Herrscherpolitik sind sein Thema, sondern Handwerker, Pfarrer, Nonnen, Bürgermeister und Soldaten. Also die Menschen, die unter dem Krieg und seinen Folgen am stärksten zu leiden hatten.

Die Berichte von Hungersnöten, Massakern, Folter und Menschenjagden erschüttern bis heute: die Schilderung des Pfarrers Michael Lehardt aus dem Jahr 1635 über den unsäglichen Hunger etwa, der die Bewohner des Dorfs Agawang bei Augsburg in den Kannibalismus trieb; oder die Angst der Dominikaner Nonne Maria Anna Junius vor Brandschatzung und Vergewaltigung, als schwedische Truppen das benachbarte Bamberg besetzten.

Die Zeugnisse sollen Medicks zentrale These untermauern: Der Dreißigjährige Krieg fand weniger auf den Schlachtfeldern als vielmehr im Alltag der Menschen statt, in ihrem unmittelbaren persönlichen Umfeld. Das Grauen suchte die Menschen regelmäßig bei sich zu Hause heim, denn die Söldnertruppen der Kriegsparteien besorgten sich das Lebensnotwendige in den Dörfern und Städten, durch die sie gerade zogen. Die Menschen mussten nicht nur horrenden, immer wiederkehrenden Abgaben zum Unterhalt der Truppen beisteuern; sie wurden auch regelmäßig dazu gezwungen, diese zu beherbergen. Die unfreiwilligen Gastgeber lebten so in permanenter Furcht vor Ausplünderung und Gewalt.

Als Beispiel für den allgegenwärtigen Terror, den diese Zwangseinquartierungen mit sich brachten, zitiert Hans Medick

den Kannengießer Augustin Güntzer, der im elsässischen Colmar zusammen mit seinen Töchtern der Willkür und Zerstörungswut fremder Soldaten ausgesetzt war. Dieser bezeichnet seine Peiniger denn auch nicht als Musketiere, sondern als „Menschengetier, von welchen ich auch auf das höchste geplaget wurde“.

Der Autor knüpft mit seinem Buch an das Konzept der Mikro- und Alltagsgeschichte an, auf dem schon seine Habilitationsschrift und das 1996 veröffentlichte Buch *Weben und Überleben in Laichingen 1650–1900. Lokalgeschichte als allgemeine Geschichte* beruht. Darin beschreibt er von 1973 bis 2004 am Göttinger Max-Planck-Institut für Geschichte forschende Historiker, wie die Einwohner des unbedeutenden Fleckens auf der Schwäbischen Alb mit Verarbeitung und Handel von Leinen zu Wohlstand kamen und durch diese „Proto-industrialisierung“ den Grundstein für die bis heute vielfach bewunderte wirtschaftliche Stärke Südwestdeutschlands legten.

Nach der Lektüre der unzähligen Entbehrungen und Gräueltaten, welche die Menschen während dieser furchtbaren 30 Jahre erdulden mussten, wird die wütende Anklage Friedrichs von dem Werder verständlich – nicht aber, warum es dann nochmals über zehn Jahre und unzähliger Toter bedurfte, bis sich die Mächtigen zum Frieden durchringen konnten. Und sogar für diesen musste die Zivilbevölkerung selbst aufkommen und „Friedensgeld“ genannte Zwangssteuern an die Besatzungstruppen entrichten.

Harald Rösch



Sie sind unter uns

Bernhard Kegel, **Ausgestorben, um zu bleiben**, Dinosaurier und ihre Nachfahren

270 Seiten, DuMont Buchverlag, Köln 2018, 22,00 Euro

Tyrannosaurus, *Stegosaurus*, *Triceratops* – manche Vierjährige werfen mühelos mit Dinosauriernamen um sich, lange bevor sie lesen können. Für diese Altersgruppe und auch für ältere Kinder gibt es Dino-Bücher zuhauf. Erwachsene Fans der Urzeitechsen haben es hingegen recht schwer, die passende Lektüre zu finden, sofern sie sich nicht durch Fachliteratur kämpfen wollen.

Bernhard Kegel – Biologe und mehrfach preisgekrönter Buchautor – möchte diese Lücke schließen. In seinem neuen Buch nimmt er die Leser mit auf eine Reise ins Erdmittelalter. Dabei zeigt er einmal mehr sein Erzähltalent. Geschickt verwebt er Wissenschafts- und Kulturgeschichte mit historischen Anekdoten und aktuellen Forschungsergebnissen zu einer informativen und kurzweiligen Lektüre.

Mehr als 170 Millionen Jahre lang lebten Dinosaurier auf der Erde. Die Zeitspanne, seit es Menschen gibt, beträgt davon nicht einmal ein Tausendstel. Erst im 19. Jahrhundert haben Wissenschaftler angefangen, sich mit den Urzeitechsen ernsthaft zu beschäftigen. Den größten Aufschwung erlebte ihre Erforschung noch viel später: 85 Prozent aller heute bekannten Dinosaurierarten wurden in den vergangenen 30 Jahren benannt und beschrieben. In diesen Zeitraum fällt auch eine der spektakulärsten Entdeckungen.

Mitte der 1990er-Jahre präsentierten chinesische Wissenschaftler auf einer Paläontologentagung *Sinosauropteryx prima* – die „erste chinesische federtragende Ech-

se“. Das Fossil des zierlichen, langschwänzigen Raubsauriers, der eineinviertel Meter lang wurde, war von einem Bauern in der Provinz Liaoning im Nordosten des Landes gefunden worden. Mittlerweile sind fast 50 gefiederte Dinosaurierarten bekannt. Nachgewiesen ist auch, dass der Meteorit am Ende der Kreidezeit die Echsen keineswegs ganz ausgelöscht hat. Sie leben weiter – als Adler, Strauß oder Rotkehlchen: Vögel sind direkte Nachfahren der Dinosaurier.

Kegel bringt seine Leser aber nicht nur auf den neuesten Stand der Dinosaurierforschung. Er erzählt etwa auch von der englischen Tischlerstochter Mary Anning, die im 19. Jahrhundert Saurierknochen ausbuddelte und verkaufte, um ihre Familie über Wasser zu halten. Anning entdeckte das erste vollständige Skelett einer Fischechse *Ichthyosaurus*. Der angesehene Arzt Sir Everard Home versuchte sich an einer Beschreibung der bizarren Kreatur. Schon bald nahm ihn im Kollegenkreis keiner mehr ernst, weil er sich nicht entscheiden konnte, ob es sich um einen Fisch oder ein Reptil handelte – oder womöglich doch um einen überdimensionierten Wasservogel.

Wie ein Wissenschaftskrimi liest sich die Geschichte von Richard Owen und Gideon Mantell. Beide Mediziner forschten an Dinosaurierknochen und wurden zu erbitterten Gegnern. Während Owen allen Ruhm einheimste und heute als *der* Urvater der Saurierforschung gilt (der Name „Dinosaurier“ stammt von ihm), traf Mantell das

Schicksal hart: Er geriet in finanzielle Nöte, seine Frau verließ ihn, die Tochter starb. Er selbst wurde von einer Pferdekutsche überrollt und musste fortan mit einem verkrüppelten Rückgrat und ständigen Schmerzen leben. Mantell starb an einer Überdosis Morphium, und seine deformierte Wirbelsäule landete als medizinisches Anschauungsobjekt ausgerechnet in der Sammlung des Royal College of Surgeons – der Wirkungsstätte seines Widersachers.

Die „Dinomania“ griff übrigens nicht erst um sich, als 1993 *Jurassic Park* in die Kinos kam, sondern schon mehr als hundert Jahre vorher: Nachdem 1853 im Londoner Crystal Park die ersten, nach den Vorgaben Owens gefertigten Dinokulpturen ausgestellt worden waren, kamen in den darauffolgenden Monaten Hunderttausende, um die steinernen Schuppentiere zu bewundern.

Bald 170 Jahre sind seither vergangen. Im Lauf dieser Zeit hat sich unser Bild von den Dinosauriern immer wieder gewandelt, von Owens plumper Rieseneidechse bis hin zum gefiederten Mini-Raubsaurier. Anhand vieler Beispiele zeigt Bernhard Kegel, wie Gemälde, Skulpturen und Filme diesen Wandel widerspiegeln. Ob allerdings der nächste Dino-Blockbuster die Federn tragenden Fossilien der vergangenen Jahre berücksichtigen wird, bleibt abzuwarten – ein laut trampelnder *T. rex* macht sich auf der Leinwand einfach besser als eine Schar Riesenhühner. Elke Maier



Schießpulver auf dem Mond

Stefan Deiters, **Was ist jetzt dort, wo der Urknall war?** ... und 333 weitere Fragen rund ums Universum

224 Seiten, Verlag Komplet-Media, München 2017, 16,99 Euro

Mehr als 250 Fragen zu wissenschaftlichen Themen haben die Max-Planck-Gesellschaft seit dem Sommer auf der Website www.wonachsuchstdu.de erreicht. Rund um Drohnen über fleischfressende Pflanzen bis hin zum Rentensystem reichte das Spektrum, das die Menschen interessierte. Fragen zeigen Neugier und sind letztlich das wichtigste Instrument der Forschung. In der Regel wirft aber jede Antwort neue Fragen auf – auch das ist Wissenschaft.

Der Astronom Stefan Deiters hat daraus ein ganzes Buch gemacht und nicht weniger als 334 Fragen gesammelt. Geboren wurde die Idee vor zwei Jahrzehnten, als Deiters den Onlinedienst astronews.com gründete. Dort forderte er seine Leser auf, „Fragen aus Astronomie und Raumfahrt einzusenden, die sie gern einmal beantwortet haben würden“. So wurde es, wie der Autor im Vorwort weiter schreibt, höchste Zeit, die interessantesten und am häufigsten gestellten Fragen einmal aufbereitet zusammenzustellen. Dieses Unterfangen ist durchaus gelungen.

In acht Kapiteln geordnet, dreht sich im vorliegenden Buch alles um die Erde,

das Sonnensystem, die Milchstraße, die Galaxien oder um Raumfahrt. Darunter sind vergleichsweise grundlegende und einfache Fragen wie etwa die, wie heiß die Sonne ist (an der Oberfläche 5500 Grad Celsius), wann der berühmte Halleysche Komet wiederkommt (im Jahr 2061) oder was sich hinter dem Begriff Zirkumpolarstern verbirgt (ein Stern, der von einem bestimmten Beobachtungsort aus gesehen nicht untergeht). Und wie es auf dem Mond riecht? Nach verbranntem Schießpulver! So jedenfalls berichteten es die Astronauten der *Apollo*-Missionen.

Stefan Deiters wagt sich aber auch an komplexere Themen heran, etwa an das Problem, was denn eigentlich vor dem Urknall war, mit dem das Universum vor 13,8 Milliarden Jahren entstand. Die Antwort hätte vor ein paar Jahren gelautet: Mit dem Urknall begannen Raum und Zeit, also gab es kein „Davor“. Deiters gibt zu, dass eine solche Antwort recht unbefriedigend ist.

Allerdings weiß er auch keine überzeugendere, denn das kosmologische Standardmodell umfasst eben nicht die Zeit vor

dem Urknall, muss jedoch nicht der Weisheit letzter Schluss sein. „Schwierig ist auf jeden Fall, eine Theorie über eine Zeit vor dem Urknall zu beweisen.“ Das ginge nur, wenn man daraus Vorhersagen über heute noch messbare Phänomene machen könnte: „Und daran sind bislang alle neuen Theorien gescheitert.“ Schade, dass Deiters sich an die selbst auferlegte Vorgabe, stets recht kurz zu antworten, hält. Denn es gibt derzeit durchaus die eine oder andere interessante Hypothese, auf die er näher hätte eingehen können.

Apropos Urknall: Die Frage, die dem Buch seinen Titel leiht, ist vergleichsweise einfach zu beantworten. Damals gab es ja keine „Explosion“ irgendwo im Raum, sondern durch den Urknall dehnte sich der gesamte Raum aus. Das heißt: Es existiert kein räumlicher Mittelpunkt des Universums – der Urknall fand praktisch überall statt. Das ist eine der überraschenden Erkenntnisse, die man aus dem leicht zu lesenden Büchlein ziehen mag. Diese verstehen und darüber staunen kann wirklich jeder, denn die Lektüre setzt keinerlei Vorkenntnisse voraus. Helmut Horning

Weitere Empfehlungen

- Hans Rosling, Anna Rosling Rönnlund, Ola Rosling, **Factfulness**, Wie wir lernen, die Welt so zu sehen, wie sie wirklich ist, 400 Seiten, Ullstein Buchverlage, Berlin 2018, 24,00 Euro
- Neil deGrasse Tyson, **Das Universum für Eilige**, 192 Seiten, Carl Hanser Verlag, München 2018, 17,00 Euro
- Ed Yong, **Winzige Gefährten**, Wie Mikroben uns eine umfassende Ansicht vom Leben vermitteln, 448 Seiten, Verlag Antje Kunstmann, München 2018, 28,00 Euro

Standorte

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

Niederlande

- Nimwegen

Italien

- Rom
- Florenz

USA

- Jupiter, Florida

Brasilien

- Manaus

Luxemburg

- Luxemburg



MAX-PLANCK-GESellschaft

Impressum

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

Redaktionsanschrift

Hofgartenstraße 8
80539 München
Telefon: 089 2108-1719 / -1276 (Fax: -1405)
E-Mail: mpf@gv.mpg.de
Internet: www.mpg.de/mpforschung
Kostenlose App: www.mpg.de/mpf-mobil

Verantwortlich für den Inhalt

Dr. Christina Beck (-1276)

Redaktionsleitung

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

Redaktion

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

Bildredaktion

Susanne Schauer (-1562)

Gestaltung

Julia Kessler, Sandra Koch
Voßstraße 9
81543 München
Telefon: 089 2781 8770
E-Mail: projekte@designergold.de

Litho

KSA Media GmbH
Zeuggasse 7
86150 Augsburg

Druck & Vertrieb

Vogel Druck- & Medienservice GmbH
Leibnizstraße 5
97204 Höchberg

Anzeigenleitung

Beatrice Rieck
Vogel Druck- & Medienservice GmbH
Leibnizstraße 5
97204 Höchberg
Telefon: 0931 4600-2721 (Fax: -2145)
E-Mail: beatrice_riECK@vogel-druck.de

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

Die **Max-Planck-Gesellschaft** zur Förderung der Wissenschaften unterhält 84 Institute und Forschungseinrichtungen, in denen rund 23 400 Personen forschen und arbeiten, davon etwa 6 700 Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler. Der Jahresetat 2018 umfasst insgesamt 1,8 Milliarden Euro. Die **Max-Planck-Institute** betreiben Grundlagenforschung in den Natur-, Lebens- und Geisteswissenschaften. Die **Max-Planck-Gesellschaft** ist eine gemeinnützige Organisation des privaten Rechts in der Form eines eingetragenen Vereins. Ihr zentrales Entscheidungsgremium ist der Senat, in dem Politik, Wissenschaft und sachverständige Öffentlichkeit vertreten sind.

MAXPLANCKFORSCHUNG besteht aus FSC®-zertifizierten und anderen kontrollierten Materialien.



Forschung leicht gemacht.

Schafft die Papierstapel ab!

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

Internet: www.mpg.de/mpforschung

Kostenlos
downloaden!



MAX-PLANCK-GESELLSCHAFT