

Ausgabe 04 | 2021

# MAX PLANCK

*Forschung*

**BIOMEDIZIN**

Booster vom Alpaka

**ASTROPHYSIK**

Kosmische Detektivarbeit

**KLIMAFORSCHUNG**

Tauwetter im Permafrost



**DIE GEFÜHLE MÜSSEN RAUS**



FOTO: ADOBE STOCK

**S**eine Gefühle einfach ausleben, so wie dieses Mädchen beim Anblick einer Plastikspinne: Was bei Kindern normal ist, war für Königinnen und Kaiser früher undenkbar. Heute dagegen lassen sich hochrangige Politikerinnen beim Fußball sogar vor laufender Kamera zu Begeisterungstürmen hinreißen. Und selbst bei Maschinen geht der Trend hin zu mehr Gefühl – zumindest bei den Robotern, die Max-Planck-Forschende für Therapiezwecke entwickeln.

# EDITORIAL

---

Liebe Leserin, lieber Leser

In der Wissenschaft galten Gefühle bis vor nicht allzu langer Zeit als schwer greifbar – zu subjektiv und nicht exakt quantifizierbar. Dabei lassen sie sich anhand der körperlichen Reaktionen, die sie hervorrufen, durchaus messen. Bei Menschen mit einer Spinnenphobie lässt die Angst vor einer Spinne das Herz schneller schlagen und ruft Vermeidungsverhalten hervor. Die Betroffenen müssen dazu nicht einmal vor einem echten Tier stehen: Mithilfe virtueller Realität und verschiedener Sensoren können Forschende das Gefühl beim Anblick einer Spinne erfassen und verbesserte Behandlungsmethoden entwickeln.

In der Öffentlichkeit waren Gefühle bis vor Kurzem verpönt. Eine vor aller Augen jubelnde Regierungschefin wie Angela Merkel bei der Fußball-WM 2014 in Brasilien wäre noch wenige Jahre zuvor undenkbar gewesen – von den Gefühlsausbrüchen eines Donald Trump ganz zu schweigen. Herrschte bis Ende des 18. Jahrhunderts noch das Ideal des ruhigen und besonnenen Monarchen, machten die Regierenden später ihr Innenleben zunehmend öffentlich, um sich so der Zuneigung und des Wohlwollens der Bevölkerung zu versichern.

Andere wiederum müssen das Fühlen erst noch lernen: Damit uns Roboter eines Tages bei der Betreuung Pflegebedürftiger unterstützen können, müssen sie erfühlen, wie sie einen Menschen berühren. Anders als die Sprach- und Bilderkennung steckt der Tastsinn künstlicher Systeme aber noch in den Kinderschuhen. Damit die Umarmung eines Roboters ein gutes Gefühl auslöst, entwickeln Forschende deshalb neuartige Berührungssensoren.

Unser Fühlen bestimmt unser Handeln also maßgeblich mit. Es ist ein Machtinstrument, es hilft oder schadet uns, und es vermittelt uns Nähe. In diesem Sinne wünschen wir Ihnen ein gutes Gefühl bei der Lektüre!

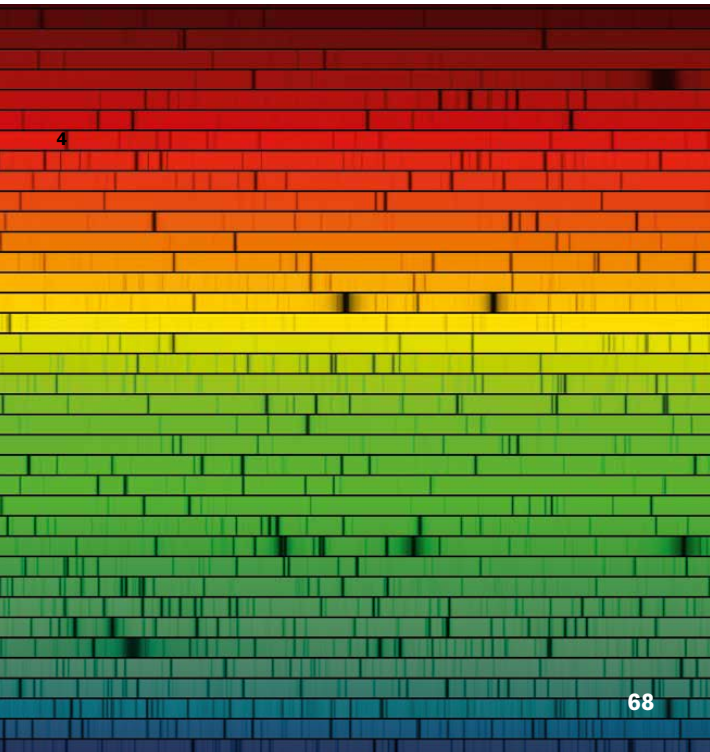
Ihr Redaktionsteam



24



46



4

68



76

**24 | AUFTRETEN**

Wer in der Öffentlichkeit Gefühle zeigt, weckt bei den Menschen Sympathien.

**46 | AUFSTEHEN**

Die Physikerin Hanieh Fattahi macht sich für den Klimaschutz stark.

**68 | AUFSPALTEN**

Die sogenannte Spektralanalyse ist seit Langem ein wichtiges Werkzeug für die Astrophysik.

**76 | AUFTAUEN**

Die voranschreitende Erderwärmung lässt Permafrostböden schmelzen.

FOTOS: PICTURE ALLIANCE / ASSOCIATED PRESS / CHARLES DHARAPAK (LINKS OBEN); AXEL GRIESCH (RECHTS OBEN); N. A. SHARP, NOAO/NSO/KITT PEAK FT/S/AURA/NSF (LINKS UNTEN); SPL-AGENTUR FOCUS (RECHTS UNTEN)

## 03 | EDITORIAL

## 06 | ORTE DER FORSCHUNG

Simuliertes Observatorium in Heidelberg

## 08 | KURZ NOTIERT

## 16 | ZUR SACHE

Das rechtliche Erbe der Kolonialzeit

Die Kolonialisierung ist Geschichte. Doch ihre Nachwirkungen zeigen sich immer noch als Kolonialität – in der Art und Weise, wie die Welt wahrgenommen, verstanden und beherrscht wird.

## 22 | INFOGRAFIK

Das Meer gerät aus dem Gleichgewicht

## IM FOKUS

Die Gefühle müssen raus

## 24 | Wohldosierte Emotionen

Politische Entscheidungen, so das klassische Dogma, sollten rational und vernünftig getroffen werden, keinesfalls emotional. Doch die Realität sieht von jeher anders aus. Welche Bedeutung hatten Gefühle für politische Ereignisse?

## 32 | Im Netz der Angst

Für Betroffene sind Angststörungen eine große Belastung. Mithilfe von virtueller Realität wollen Forschende sie besser verstehen und eine standardisierte Therapie entwickeln. Ein Selbstversuch.

## 38 | Roboter mit sanfter Hand

Um zukünftig Menschen bei einer Therapie oder im Alltag unterstützen zu können, müssen Maschinen fähig sein, ihr Gegenüber zu ertasten und behutsam anzufassen. Tests mit feinfühligem Robotern laufen bereits.

## 46 | BESUCH BEI

Hanieh Fattahi

## 54 | ZWEITER BLICK

## WISSEN AUS

## 56 | Farben hören, Gene suchen

Die Synästhesie ist eines der faszinierendsten Phänomene der Neurowissenschaften. Nur sehr langsam lüften sich die damit verbundenen wissenschaftlichen Geheimnisse.

## 62 | Booster vom Alpaka

Das Immunsystem dieses Lama-ähnlichen Tieres enthält Abwehrstoffe, die in einem wirksamen Medikament gegen Sars-CoV-2 eingesetzt werden könnten.

## 68 | Kosmische Detektivarbeit

Die Chemie eines Sterns enthält wertvolle Informationen. Um aus einem spektralen Fingerabdruck die Häufigkeiten der Elemente exakt zu ermitteln, bedarf es ausgeklügelter Methoden.

## 76 | Tauwetter im Permafrost

Die dauerhaft gefrorenen Böden vor allem am nördlichen Polarkreis speichern mehr als eine Billion Tonnen Kohlenstoff. Setzen sie beim Auftauen große Mengen an Treibhausgasen frei?

## 82 | POST AUS ...

Lima, Peru

## 84 | NEU ERSCHIENEN

## 86 | FÜNF FRAGEN

Zur psychischen Gesundheit in Zeiten von Corona

## 87 | IMPRESSUM

5

## TECHMAX

Smarte Polymere – wie Nanokapseln Chemie und Medizin revolutionieren



WASSERTANK FÜR  
TEILCHENSCHAUER

6 Was wie eine Baustelle anmutet, ist in Wirklichkeit die Testanlage für ein ganz besonderes Observatorium. Passend dazu beleuchtet der Orion mit seinen drei charakteristischen Gürtelsternen die Szene und verweist sinnbildlich auf das Weltall. Der elf Meter durchmessende Tank, der sich auf dem Gelände des Max-Planck-Instituts für Kernphysik sechs Meter in die Höhe reckt, fasst 550 Tonnen Wasser – und simuliert einen See. Was das mit Astrophysik zu tun hat?

Mitten in den chilenischen Anden planen Forschende eine Anlage namens SWGO. Das Akronym steht für „Southern Wide-field Gamma-ray Observatory“. Dieses soll eines Tages rund um die Uhr energiereiche Strahlung aus den Tiefen des Universums beobachten, und zwar indirekt: Die kosmischen Gammaphotonen lösen in der Luft wahre Partikelschauer aus, die im Wasser blaues Licht erzeugen und sich so nachweisen lassen. Ein Konzept für das Observatorium sieht einen natürlichen See vor. Aus diesem könnte Wasser entnommen, vor Ort gereinigt und in Ballons gefüllt werden. Diese könnte man dann im Innern mit Detektoren versehen und im See schweben lassen.

Mit dem Tank in Heidelberg wollen die Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler testen, ob diese Idee funktioniert. Das Gerüst ermöglicht es, im wörtlichen Sinne Versuchsballons in dem Tank zu versenken. Dabei werden verschiedene Ballonhüllen-Materialien ausprobiert, sowohl im Hinblick auf ihre Stabilität als auch auf ihre optischen Eigenschaften. Zudem kann eine Wasserumwälz- und -filteranlage den künstlichen See in leichte Bewegung versetzen. Die perfekte Simulation für ein neues Fenster zum All.

[www.youtube.com/watch?v=3ceq75YzE8E&feature=youtu.be](https://www.youtube.com/watch?v=3ceq75YzE8E&feature=youtu.be)



# ORTE DER FORSCHUNG

---



7

FOTO: MPI FÜR KERNPHYSIK



FOTO: GCO

Auf der Gewinnerseite: *MaxPlanckForschung* hat den German Design Award 2022 bekommen.

## EINE EHRE FÜR UNSER MAGAZIN

Für die Gestaltung und den optischen Auftritt ist *MaxPlanckForschung* mit einem der renommiertesten Designpreise weltweit ausgezeichnet worden: Das Magazin erhielt den German Design Award 2022 in der Kategorie „Excellent Communications Design – Editorial“. Gewürdigt wurde dabei die Neugestaltung vor zwei Jahren. Das optische und inhaltliche Konzept hat die Jury des German Design Award ebenso überzeugt wie die redaktionelle Arbeit, deren Ziel es ist, die verschiedenen wissenschaftlichen Fachjargons in eine einfache und für Laien verständliche Sprache zu übersetzen. Der German Design Award wird vom Rat für Formgebung verliehen und würdigt innovative Gestaltung in den Bereichen Architektur, Kommunikation und Produktdesign. Eine internationale Jury, die sich aus führenden Fachleuten aller Disziplinen des Designs zusammensetzt, bewertet die Einreichungen.

[www.mpg.de/17874992](http://www.mpg.de/17874992)

8

## AUSGEZEICHNET ★

### DIETER OESTERHELT

Der emeritierte Direktor am Max-Planck-Institut für Biochemie erhielt den Albert Lasker Basic Medical Research Award 2021 – zusammen mit Peter Hegemann von der Humboldt-Universität und dem US-Amerikaner Karl Deisseroth von der Stanford-Universität. Die drei werden für die Entdeckung lichtempfindlicher Proteine in der Membran von Einzellern und deren Einsatz in der Optogenetik geehrt.



FOTO: MPG/FILSER

### ALESSANDRA BUONANNO

Der diesjährige Balzan Preis ging an die Direktorin am Max-Planck-Institut für Gravitationsphysik und an Thibault Damour vom französischen Institut des Hautes Études Scientifiques. Die Jury würdigte damit die führende Rolle der beiden bei der Vorhersage von Gravitationswellensignalen. Außerdem hätten ihre Arbeiten die allgemeine Relativitätstheorie äußerst genau bestätigt.



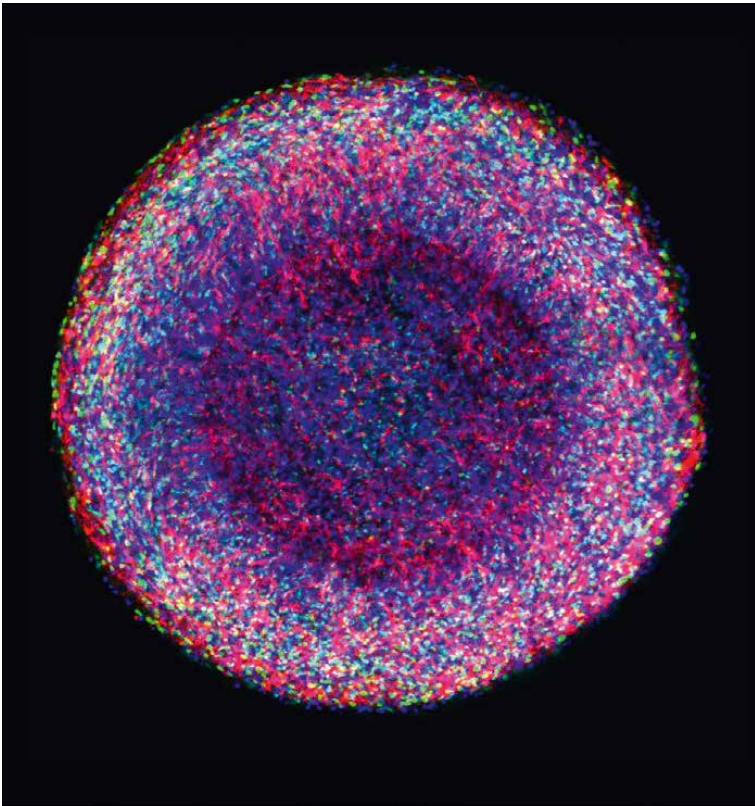
FOTO: SVEN DÖRING



# KURZ NOTIERT

---

BILD: MPI FÜR MOLEKULARE BIOMEDIZIN/HENRIK RENNER, JAN BRUDER



Ein 25 Tage altes Mittelhirn-Organoid (blau: Zellkerne; rot: Nervenzellen; grün: Vorläuferzellen).

## PETRISCHALE STATT TIERVERSUCH

Um die Funktionsweise des Gehirns aufzuklären und Medikamente gegen neurologische Erkrankungen wie Alzheimer, Parkinson oder Depressionen zu entwickeln, müssen Forschende die Gehirne von Versuchstieren untersuchen. Nervenzellen lassen sich zwar auch in zweidimensionalen Zellkulturen studieren, die traditionell in einer Nährlösung gedeihen und einen Rasen miteinander verbundener Nervenzellen bilden. Allerdings entsprechen diese flach ausgebreiteten Zellkulturen nur entfernt den Bedingungen im menschlichen Gehirn. Ganz anders die Gehirn-Organoiden aus Münster. Sie entstehen aus speziellen neuronalen Vorläuferzellen, die spontan selbst Gewebestückchen formen und sich in allen drei Raumrichtungen vernetzen können. Entwickelt wurden sie

von Jan Bruder und Henrik Renner am Max-Planck-Institut für molekulare Biomedizin in Münster. Die beiden Wissenschaftler haben außerdem ein automatisiertes Herstellungsverfahren entworfen, mit dem sie die Organoiden standardisiert und in hoher Zahl produzieren und analysieren können. Mithilfe der Miniaturgewebe können Forschende die Mechanismen neurologischer Erkrankungen grundlegend untersuchen. Zudem lassen sich potenzielle Arzneistoffe an den Organoiden erproben. Wenn sich die Stoffe dabei als unwirksam oder toxisch erweisen, sind weitere Tierversuche unnötig. Dafür haben die beiden Erfinder den Tierschutzforschungspreis 2021 des Bundesministeriums für Ernährung und Landwirtschaft erhalten.

[www.mpg.de/17933386](http://www.mpg.de/17933386)

## NEUE LEITUNG DER VERWALTUNG

Simone Schwanitz wird neue Generalsekretärin der Max-Planck-Gesellschaft. Bisher leitete sie die Abteilung „Forschung, Technologietransfer, Digitalisierung, Europäische Union“ im Ministerium für Wissenschaft, Forschung und Kunst des Landes Baden-Württemberg. In dieser Position war sie auch Mitglied in den Kuratorien mehrerer Max-Planck-Institute. Die 53-jährige Diplom-Politologin hat durch ihre langjährige Arbeit auf operativer ministerieller Ebene Kenntnisse in Personal-, Haushalts-, Bau- und Rechtsangelegenheiten erworben und Erfahrungen in deren Umsetzung gesammelt. „Das wird ihr nicht nur bei der Leitung der Generalverwaltung, sondern auch bei der Interaktion mit den Instituten, Organen und Gremien sowie mit den Ministerien und der Gemeinsamen Wissenschaftskonferenz von Bund und Ländern zugutekommen“, betont Max-Planck-Präsident Martin Stratmann. Simone Schwanitz wird ihr Amt zum 1. Februar 2022 antreten. Ihr Vorgänger Rüdiger Willems wird zum März 2022 ausscheiden.

[www.mpg.de/17883878](http://www.mpg.de/17883878)

Lego mit Gedächtnis: Ein Spielzeugroboter lernt mithilfe eines organischen neuromorphen Schaltkreises, durch ein Labyrinth zu navigieren.

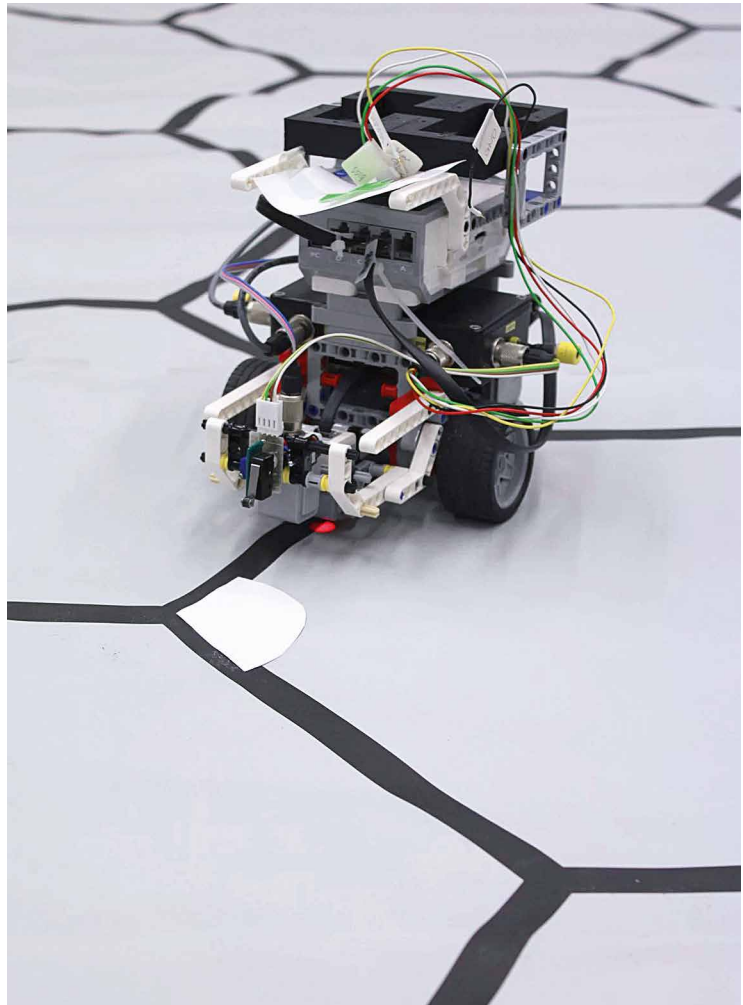
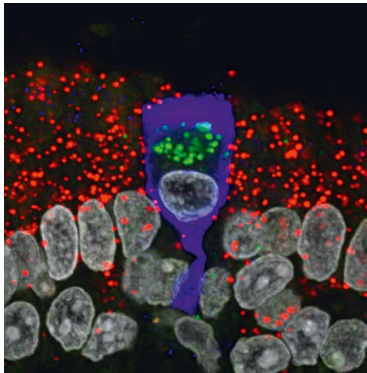


FOTO: MPI FÜR POLYMERFORSCHUNG

BILD: MP-FORSCHUNGSSTELLE FÜR NEUROGENETIK/MONA KHAN



Eine einzelne infizierte Stützzelle ist von nicht infizierten Zellen in der Riechschleimhaut eines Covid-19-Patienten umgeben, der vier Tage nach der Diagnose der Infektion starb. Die infizierte Zelle hat die charakteristische Form eines Weinglases.

## CORONA IN DER NASE

10 Covid-19 kann einen temporären oder auch langfristigen Verlust des Geruchssinns auslösen. Es wäre daher möglich, dass Sars-CoV-2 die Sinneszellen in der Riechschleimhaut befällt und über den Riechnerv sogar ins Gehirn eindringen kann. Forschende der Max-Planck-Forschungsstelle für Neurogenetik in Frankfurt haben in den Sinneszellen verstorbener Covid-19-Patienten jedoch keine Viren festgestellt. Auch die Nervenzellen des Riechkolbens im Gehirn werden offenbar nicht befallen. Es gibt demnach bislang keine Hinweise darauf, dass Sars-CoV-2 tatsächlich Nervenzellen befällen kann. In der Riechschleimhaut sind stattdessen Stützzellen das primäre Ziel für das Virus. Vermutlich wird der Verlust des Geruchssinns durch einen Befall dieser Stützzellen ausgelöst, welche die Riechsinneszellen dann nicht mehr ausreichend mit Nährstoffen versorgen können. Die Stützzellen liegen an der Oberfläche der Nasenschleimhaut und können dort vom Immunsystem nur unzureichend geschützt werden. Selbst geimpfte oder genesene Patienten könnten also nach einer Infektion mit Sars-CoV-2 ihren Geruchssinn verlieren.

[www.mpg.de/17907771](http://www.mpg.de/17907771)

## ROBOTER MIT KÜNSTLICHEN SYNAPSEN

Schaltkreise, die wie Nervenzellen arbeiten, könnten der Computertechnik noch einmal neue Anwendungen erschließen. So könnten sie ähnlich energieeffizient arbeiten wie natürliche Neuronen, sensorische Information wie etwa die Bilddaten einer Kamera direkt in Steuerungssignale für einen Motor umwandeln und letztlich auch die Kommunikation zwischen Nervenzellen und mikroelektronischen Bauteilen erleichtern. Ein Schritt hin zu einer solchen neuromorphen Elektronik ist nun einem internationalen Team um Forschende des Max-Planck-Instituts für Polymerforschung gelungen. Die Forschenden haben einen neuromorphen Schaltkreis entwickelt, dessen Transistor Information mithilfe von Ionen verarbeitet – so wie Nervenzellen dies tun – und nicht wie her-

kömmliche mikroelektronische Bauteile in Form von Elektronen. Zudem kann der Schaltkreis Gelerntes dauerhaft speichern, weil er eine synthetische Synapse enthält, die sich beim Lernen nach dem Vorbild einer biologischen Synapse verändert. Das Team baute den neuromorphen Schaltkreis einem Roboter ein, der damit lernte, anhand von Markierungen den Weg durch ein Labyrinth zu finden. Dabei nutzte der Roboter neben Kameradaten die mechanischen Signale der Stöße, wenn er irrtümlich gegen die Begrenzungen des Labyrinths fuhr. Wie das Team vermutet hatte, interpretierte der Roboter die Wegmarken nach jedem Fehlversuch zuverlässiger, weil die entsprechenden Signale der künstlichen Synapse stärker wurden.

[www.mpg.de/18021321](http://www.mpg.de/18021321)

# GEFÜHLE KOMMEN VON HERZEN

Wer zu wenig Angst hat, verhält sich leicht riskant. Doch auch wer zu viel Angst hat oder gar zu Panikattacken neigt, bekommt Probleme im Alltagsleben. Doch wie lässt sich Angst im Gleichgewicht halten? Ergebnisse, die Forschende des Max-Planck-Instituts für Neurobiologie in Martinsried an Mäusen gewonnen haben, zeigen, dass das Gehirn die Angst mithilfe von Reaktionen des Körpers kontrolliert, etwa mithilfe des bei Angst sinkenden Herzschlags. Die Forschenden haben sich auf die Inselrinde konzentriert – eine Hirnregion, die auch beim Menschen auf Reize reagiert, die Gefahr signalisieren wie etwa ein unerwartetes Geräusch. In ihr laufen über den Vagusnerv auch Signale aus dem Herzen ein. Die Ergebnisse lassen vermuten, dass die Inselrinde die Angst auf einen bestimmten Mittelwert bringt: Wird sie aktiviert, verlieren sehr ängstliche Mäuse einen Teil ihrer Angst. Mutige Tiere mit aktivierter Inselrinde werden dagegen vorsichtiger. Allerdings benötigt die Inselrinde dazu die Rückmeldung aus dem Körper, denn sobald beispielsweise kein Austausch zwischen Herz und Gehirn stattfindet, wird die Inselrinde nicht aktiviert. Sehr ängstliche Tiere bleiben ängstlich, die unbekümmerten bleiben sorglos. Reaktionen des Körpers sind also mehr als die bloße Folge von Gefühlen: Mit ihrer Hilfe kontrolliert das Gehirn diese vielmehr in einer Rückkopplungsschleife.

[www.mpg.de/17858608](http://www.mpg.de/17858608)

# SAG MIR, WAS DU SPIELST ...

Menschen spielen überall auf der Welt, aber sie spielen nicht überall gleich. Frühere Studien lieferten Hinweise, dass in sozial hierarchischen Gesellschaften häufig wettbewerbsorientierte Spiele gespielt werden, während in egalitären Gesellschaften eher kooperative Spiele verbreitet sind. Diese Zusammenhänge wurden jedoch nur anhand weniger Kulturen untersucht. Forschende des Max-Planck-Instituts für evolutionäre Anthropologie in Leipzig haben nun gemeinsam mit Kolleginnen und Kollegen aus Jena, Gera und Australien historische Daten dazu analysiert. Dabei stand die Frage

im Mittelpunkt, ob typische Spiele Rückschlüsse darauf erlauben, wie kooperativ eine Gesellschaft ist. Die Ergebnisse zeigen, dass es in Gesellschaften, die häufig Konflikte mit anderen Gesellschaften austrugen, mehr kooperative als kompetitive Spiele gab. Andererseits hatten Kulturen, in denen es häufig zu Konflikten innerhalb der Gemeinschaft kam, stärkere Tendenzen zu kompetitiven Spielen. Keine verlässlichen Zusammenhänge gab es zwischen der Art des Spiels und den hierarchischen Sozialstrukturen der Gesellschaften.

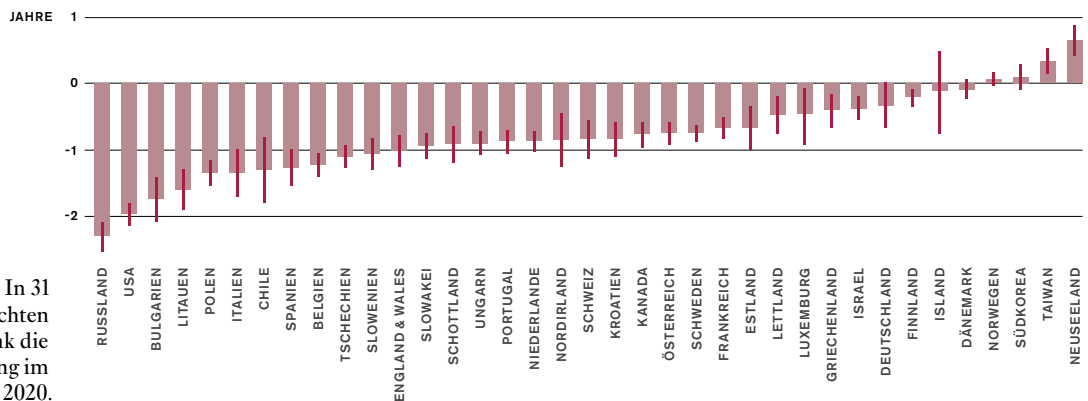
[www.mpg.de/17887355](http://www.mpg.de/17887355)

# CORONA SENKT LEBENSERWARTUNG

In den meisten westlichen Industrienationen sind wir es seit Jahrzehnten gewohnt, dass die durchschnittliche Lebenserwartung von Jahr zu Jahr um einige Wochen steigt. Nun hat die Covid-19-Pandemie diese Entwicklung vorerst gestoppt. Das geht aus einer Studie des Max-Planck-Instituts für demografische Forschung in Rostock sowie der Universitäten Oxford und Cambridge hervor. Das Team berechnete anhand zuverlässiger und vollständiger Datensätze die Sterblichkeit für 37 Länder mit hohem und mittlerem Einkommen. In 31 der untersuch-

ten Länder sank demnach die Lebenserwartung für Männer und Frauen. Am stärksten betroffen war Russland, wo sie für Männer um 2,33 Jahre und für Frauen um 2,14 Jahre zurückging. An zweiter Stelle liegen die USA: Dort fiel die durchschnittliche Lebenserwartung bei Männern um 2,27 Jahre und bei Frauen um 1,61 Jahre. Die Lebenserwartung gibt an, wie lange Menschen im Durchschnitt leben würden, wenn die Umstände des untersuchten Jahres für den Rest ihres Lebens konstant blieben.

[www.mpg.de/17632788](http://www.mpg.de/17632788)



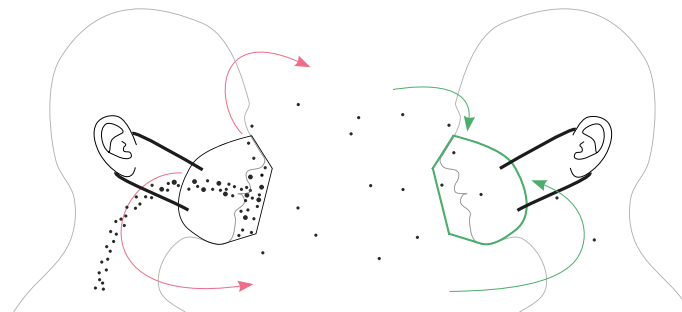
Negative Bilanz: In 31 der 37 untersuchten Länder sank die Lebenserwartung im Jahr 2020.

## SO GUT SCHÜTZEN MASKEN

Selbst drei Meter Abstand helfen nicht. Wenn eine ungeimpfte Person keine Maske trägt und in der Atemwolke eines Menschen steht, der mit dem Coronavirus infiziert ist, hat sie bereits nach wenigen Minuten ein sehr hohes Risiko, sich ebenfalls mit dem Erreger von Covid-19 anzustecken. Masken verhindern die Übertragung des Virus allerdings sehr gut. So sinkt das Risiko, sich innerhalb von zwanzig Minuten zu infizieren, auf höchstens zehn Prozent, wenn beide Personen einen gut sitzenden medizinischen Mund-Nasen-Schutz tragen. Mit gut sitzenden FFP2- oder KN95-Masken fällt das Risiko sogar auf unter 0,1 Prozent und selbst mit schlecht sitzenden FFP2-Masken auf maximal 4 Prozent. Diese Obergrenzen für das Infektionsrisiko hat ein Team des Max-Planck-Instituts für Dynamik und Selbstorganisation in Göttingen in einer umfangreichen Studie ermittelt. Darin untersuchte das Team, wie gut verschiedene Masken bei unterschiedlichen Trageweisen vor einer Infektion mit der Delta-variante des Coronavirus schützen. Dabei haben die Forschenden das Infektionsrisiko äußerst konservativ bestimmt und sind daher sicher, dass Masken unter realen Bedingungen noch besser schützen. Und sie schätzen, dass für die Omikronvariante das Übertragungsrisiko dank der Masken sogar noch deutlicher sinkt als für die Deltavariante. Und das, obwohl für eine Infektion mit Omikron nur die Hälfte oder ein Drittel der Virionen nötig sind. Den scheinbaren Widerspruch lösen die Forschenden mit einem Blick auf die jeweilige Viruslast und die Größe der entstehenden Partikel in den unteren und oberen Atemwegen auf: In den unteren Atemwegen ist die Viruslast bei Omikron deutlich niedriger als bei Delta. In den oberen Atemwegen ist sie dagegen bei beiden Varianten ähnlich hoch. Hier entstehen allerdings – vor allem beim Sprechen, Singen und Schreien – große virus-haltige Partikel, die Masken, auch medizinische Masken, besonders effektiv aus der Atemluft filtern.

[www.mpg.de/17915640](http://www.mpg.de/17915640)

Masken, die an den Rändern nicht dicht abschließen, lassen vor allem an den Nasenflügeln, aber auch an den Wangen Luft ein- und austreten. Doch selbst schlecht sitzende Masken reduzieren das Infektionsrisiko noch deutlich.



## KRÄHEN SCHÄTZEN WERKZEUGE

Wie sorgfältig wir Menschen mit unseren Besitztümern umgehen, hängt häufig von deren Preis ab. Ein Preisschild klebt auf den Stöckchen zwar nicht, die manche Krähen zur Nahrungssuche benutzen, doch die Tiere wissen um deren Wert. Das haben Forscher der Universität St. Andrews und des Max-Planck-Instituts für Verhaltensbiologie in Konstanz in einer Studie mit Neukaledonischen Krähen beobachtet. Die Vögel stellen in mühevoller Kleinarbeit aus einer seltenen Pflanzenart Werkzeuge mit Haken her, mit denen sie zehnmalschneller Beute machen als mit einfacher herzustellenden Werkzeugen ohne Haken. Wie das deutsch-britische Team nun festgestellt hat, bewahren die Krähen solche wertvollen Hilfsmittel zwischen den Einsätzen sicherer auf als einfachere Werkzeuge. Wenn sie ihre Beute mit einem Stöckchen aus Ritzen und Höhlen geangelt haben, müssen sie ihr Werkzeug zum Fressen ablegen. Sie halten es dazu entweder unter ihren Füßen fest oder stecken es vorübergehend in ein nahe gelegenes Loch. So versuchen sie zu vermeiden, dass sie das Stöckchen versehentlich fallen lassen oder dass dieses von anderen Krähen gestohlen wird.

[www.mpg.de/18062558](http://www.mpg.de/18062558)



FOTO: JAMES ST. CLAIR

Neukaledonische Krähe mit Hakenwerkzeug.

FOTO: JASPER WASSENBURG, MAX-PLANCK-INSTITUT FÜR CHEMIE

Steinerner Zeuge: Die chemische Signatur in den Bändern, die sich beim Wachstum eines Stalagmiten – hier ein Tropfstein aus Marokko – bilden, liefert Forschenden präzise Informationen zu vergangenen Klima- veränderungen.



40 mm

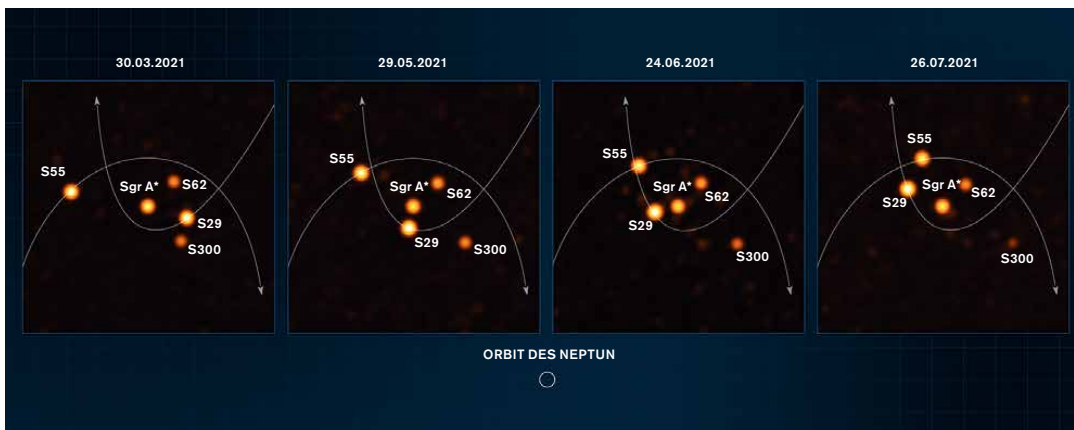
## SCHWACHER GOLFSTROM REDUZIERT MONSUNREGEN

Wenn der Eisschild Grönlands abtaut, könnte das auch gravierende Folgen für die Wasserversorgung der Tropen haben. Denn dadurch fließen große Mengen Süßwasser in den Nordatlantik, wodurch sich die atlantische Umwälzbewegung, zu der auch der Golfstrom gehört, verlangsamen dürfte. Das wird wahrscheinlich die lebenswichtigen Monsunregenfälle in Ostasien und Indien schwächen. Zu diesem Schluss kommt ein internationales Team um Forschende des Max-Planck-Instituts für Chemie in einer Studie, die zeigt, wie die Abschwächung des Golfstroms den Monsun in der Vergangenheit beein-

flusst hat. Zu diesem Zweck analysierte das Team in den Ablagerungen von Stalagmiten einer südchinesischen Tropfsteinhöhle die chemische Signatur, die Aufschluss über die Niederschlagsmenge und -dauer im Monsun gibt. Diese Daten kombinierten die Forschenden mit den Erkenntnissen anderer Gruppen, wonach sich am Ende der vorletzten Kaltzeit die atlantische Umwälzbewegung durch den vermehrten Zufluss von Schmelzwasser in den Nordatlantik abschwächte. So wies das Team nach, dass in dieser Zeit die Monsunregenfälle drastisch abnahmen.

[www.mpg.de/17884523](http://www.mpg.de/17884523)

BILD: ESO / GRAVITY COLLABORATION



Schwung ums schwarze Loch: Diese Bilder wurden zwischen März und Juli 2021 aufgenommen und zeigen Sterne, die sehr nahe um das Massemonster im Zentrum der Milchstraße kreisen.

## ZOOM INS GALAKTISCHE ZENTRUM

Das Herz unserer Milchstraße birgt die eine oder andere Überraschung – nicht zuletzt deshalb, weil in dieser Region ein gewaltiges schwarzes Loch sitzt. Ein Team unter der Leitung des Max-Planck-Instituts für extraterrestrische Physik hat nun einen tiefen Blick in das galaktische Zentrum geworfen. Dabei konzentrierten sich die Forschenden um Reinhard Genzel auf die Vermessung der Um-

laufbahnen von Sternen nahe der Schwerkraftfalle. Dazu gehörte auch der Rekordstern S29, der sich dem schwarzen Loch Ende Mai 2021 mit der atemberaubenden Geschwindigkeit von 8740 Kilometern pro Sekunde näherte und das Objekt in einer Entfernung von 13 Milliarden Kilometern passierte – entsprechend dem 90-fachen Abstand zwischen Sonne und Erde. Bisher wurde kein anderer

Stern beobachtet, der so nahe oder so schnell am schwarzen Loch vorbeifliegt. Zudem fand die Gruppe heraus, dass dieser und andere Sterne exakt jenen Bahnen folgen, die sich nach der Relativitätstheorie um ein schwarzes Loch mit 4,3 Millionen Sonnenmassen bewegen. Mit einer Genauigkeit von 0,25 Prozent ist dies die bisher präziseste Massebestimmung.

[www.mpg.de/18025933](http://www.mpg.de/18025933)

## PAPAGEIEN ÜBEN SICH IN SELBSTKONTROLLE

Im sogenannten Marshmallow-Versuch testeten Forschende Anfang der 1970er-Jahre die Fähigkeit von Kindern, auf eine Belohnung zu warten, wenn diese mit der Zeit größer wird. Eine solche Impulskontrolle besitzen neben dem Menschen auch einige Tierarten, darunter Schimpansen, Kapuzineraffen, Hunde, Tintenfische und Krähen. Ein Forschungsteam des Max-Planck-Instituts für Ornithologie in Seewiesen hat nun

auf der Max-Planck Forschungsstation im Loro Parque – Animal Embassy in Spanien die Selbstkontrolle von vier Papageienarten miteinander verglichen. Die Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler testeten, wie lange die Papageien dem sofortigen Verzehr eines Sonnenblumenkerns zugunsten einer in Aussicht gestellten Walnuss widerstehen können. Afrikanische Graupapageien warteten im Durchschnitt länger auf ihr

Lieblingsfutter als die Aras. Die Bestleistung erzielte ein Graupapagei namens Sensei, der sich mehr als doppelt so lang in Geduld üben konnte wie der geduldigste Ara. Eine Erklärung für die Unterschiede könnte sein, dass Selbstbeherrschung bei den Vogelarten stärker ausgeprägt ist, die mehr Zeit in die Futtersuche investieren müssen oder die in einem komplexeren sozialen Umfeld leben.

[www.mpg.de/17802107](http://www.mpg.de/17802107)

## GEMEINSAME WURZELN

14

Zur Familie der transeurasischen Sprachen zählen so unterschiedliche Sprachen wie Japanisch, Koreanisch, Tungusisch, Mongolisch und Türkisch. Die Herkunft und die Ausbreitung dieser Sprachfamilie lagen jedoch lange im Dunkeln. Eine interdisziplinäre Studie mit Hauptautorin Martine Robbeets, Forschungsgruppenleiterin am Max-Planck-Institut für Menschheitsgeschichte, hat nun genetische, archäologische und linguistische Belege dafür gefunden, dass sich die Sprachfamilie mit der Landwirtschaft ausgebreitet hat. Die Daten deuten darauf hin, dass die Ursprünge der transeurasischen Sprachen auf die Anfänge des Hirseanbaus am westlichen Liao-Fluss im Nordosten Chinas zurückgehen. Dort wurde Rispenhirse bereits vor neuntausend Jahren angebaut. Die Sprachfamilie verbreitete sich von dort aus zunächst in angrenzenden Regionen. Im späten Neolithikum sowie in der Bronze- und Eisenzeit vermischten sich die Hirsebauern allmählich mit Populationen am Gelben Fluss, im Westen Eurasiens sowie in Japan. Dabei brachten sie auch Wissen über den Anbau von Reis und Feldfrüchten sowie über die Weidewirtschaft mit.

[www.mpg.de/17999767](http://www.mpg.de/17999767)

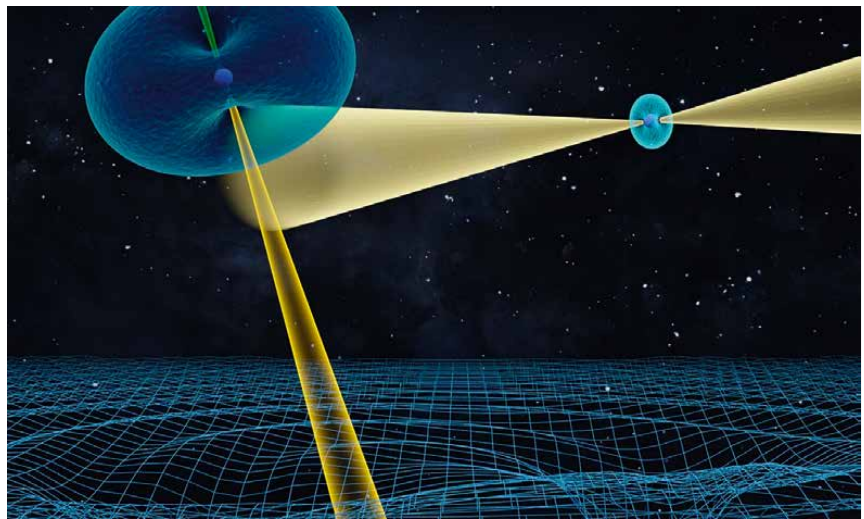


BILD: MICHAEL KRAMER / MPIFR

Kosmischer Prüfstand: Das Bild ist eine künstlerische Darstellung des Doppelpulsarsystems PSR J0737–3039 A/B, in dem zwei aktive Pulsare einander in nur 147 Minuten umkreisen. Die Umlaufbewegung dieser Neutronensterne mit extrem hoher Dichte verursacht eine Reihe von relativistischen Effekten, die über einen Zeitraum von sechzehn Jahren exakt vermessen wurden.

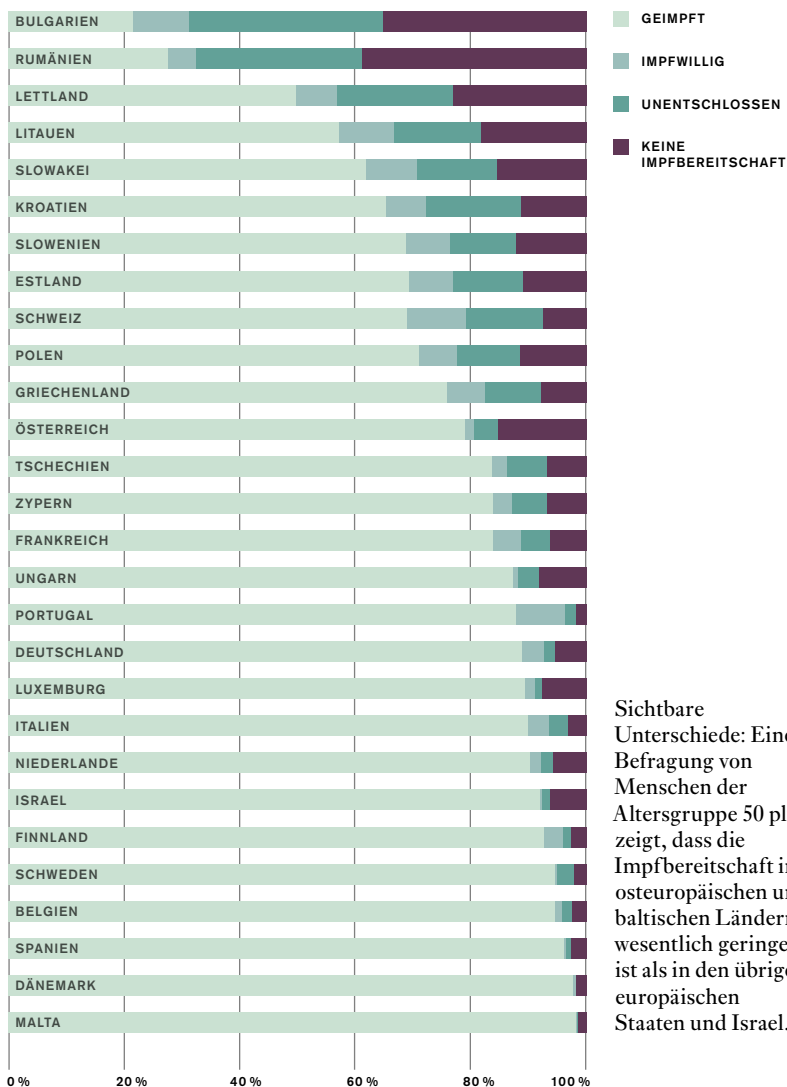
## UND EINSTEIN HAT DOCH WIEDER RECHT

Mehr als hundert Jahre nachdem Albert Einstein seine Gravitationstheorie veröffentlichte, bemühen sich Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler auf der ganzen Welt weiterhin, mögliche Grenzen der allgemeinen Relativitätstheorie aufzuzeigen. Die Beobachtung einer Abweichung von den Vorhersagen dieser Theorie würde das Fenster zu einer neuen Physik öffnen und über unser derzeitiges theoretisches Verständnis des Universums hinausgehen. Ein Team von Forschenden aus zehn Ländern hat in einem sechzehn Jahre dauernden Experiment Einsteins allgemeine Relativitätstheorie mit einigen der bis-

her härtesten Tests überprüft. Dazu untersuchte die Gruppe unter der Leitung von Michael Kramer vom Max-Planck-Institut für Radioastronomie ein einzigartiges Sternpaar mit extremen Eigenschaften, zwei sogenannte Pulsare, die einander in einem Doppelsternsystem umkreisen. An den Messungen waren sieben Radioteleskope auf der ganzen Welt beteiligt. Dabei traten neue relativistische Effekte zutage, die zwar erwartet, nun aber zum ersten Mal gesehen wurden. Und: Einsteins theoretische Vorhersage stimmen mit den Beobachtungen zu mehr als 99,99 Prozent überein.

[www.mpg.de/18012904](http://www.mpg.de/18012904)

KURZ NOTIERT



GRAFIK: GCO NACH SHARE-ERIC

Sichtbare Unterschiede: Eine Befragung von Menschen der Altersgruppe 50 plus zeigt, dass die Impfbereitschaft in osteuropäischen und baltischen Ländern wesentlich geringer ist als in den übrigen europäischen Staaten und Israel.

## WER SIND DIE UNGEIMPFTEN?

Ein Forschungsteam des Max-Planck-Instituts für Sozialrecht und Sozialpolitik hat untersucht, welche demografischen, sozioökonomischen und gesundheitlichen Faktoren bei der Entscheidung für oder gegen eine Coronaimpfung eine Rolle spielen. Dazu nutzten sie den *Survey on Health, Ageing and Retirement in Europe*, der in 27 europäischen Ländern und Israel regelmäßig Daten in der Altersgruppe der über 50-Jährigen erhebt. Auffällig ist, dass in Osteuropa die Impfsicherheit und -verweigerung deutlich stärker ausgeprägt war als in den anderen Regionen. Außerdem ließen sich Menschen mit geringerem Einkommen seltener impfen. Auch das Bil-

dungsniveau spielte eine Rolle: Der Anteil der Unentschlossenen und Impfverweigerer lag in der Gruppe mit niedriger und mittlerer Schulbildung bei 15 bis 16 Prozent, bei den höher Gebildeten jedoch nur bei gut 9 Prozent. Personen zwischen 50 und 65 Jahren lehnten den Impfstoff eher ab als ältere Befragte, und das in fast allen Ländern. Auch das Geschlecht hatte in den meisten Ländern einen Einfluss: Frauen waren eher zögerlich als Männer. Zudem korrelierte die Impfbereitschaft mit der körperlichen Gesundheit und damit, ob die Befragten persönlich Menschen kannten, die schwer an Covid-19 erkrankt waren.

[www.mpg.de/17668113](http://www.mpg.de/17668113)

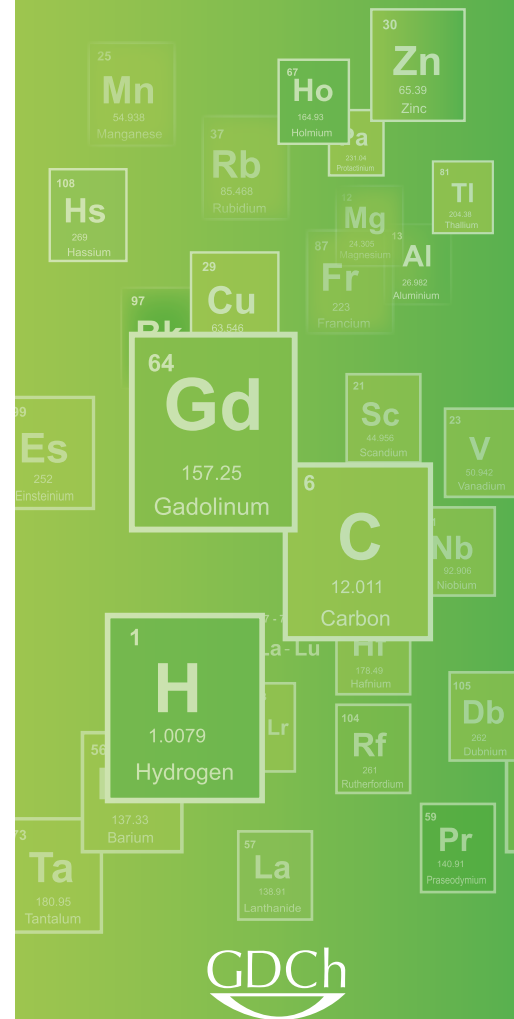
D A S  
K A R R I E R E  
P O R T A L

## für Chemie und Life Sciences

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

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

ANZEIGE



GDCh

GESELLSCHAFT DEUTSCHER CHEMIKER

[www.gdch.de/karriere](http://www.gdch.de/karriere)

---

# DAS RECHTLICHE ERBE DER KOLONIALZEIT

Die Kolonialisierung ist Geschichte. Doch ihre Nachwirkungen zeigen sich immer noch als Kolonialität – in der Art und Weise, wie die Welt wahrgenommen, verstanden und beherrscht wird. Ein Beispiel dafür sind europäische Rechtsauffassungen, die nach wie vor weltweit als Maßstab gelten. Unser Autor fordert eine Abkehr von der eurozentrischen Sichtweise und plädiert für ein neues pluriversales Rechtsverständnis.

TEXT: RALF MICHAELS

Im September 2021 erklärte die Weltbank eines ihrer erfolgreichsten Projekte, den *Doing Business*-Report, für beendet. Seit 2004 hatte man alle Staaten der Welt mithilfe eines Indikatorensystems danach beurteilt, wie wirtschaftsfreundlich sie sind, und in ein Ranking eingeordnet. Gestoppt wurde das Projekt trotz seines Erfolges, nachdem sich herausstellte, dass die Bewertungskriterien speziell für China geändert worden waren: Man hatte befürchtet, ein Absinken Chinas in der Tabelle könne die Finanzierung der Weltbank insgesamt gefährden. Nun will die Weltbank in zwei Jahren ein Nachfolgeprojekt vorstellen.

Der *Doing Business*-Report war ein Projekt von Ökonomen – Rechtswissenschaftler waren an seiner Erstellung nicht beteiligt. Im Kern war es aber ein juristisches Projekt. Denn die beobachteten Faktoren, welche die Wirtschaftsfreundlichkeit begründen sollten, waren im Wesentlichen solche des Rechtssystems: Wie leicht kann man in Staat X ein Unternehmen gründen? Eine Frage des Gesellschaftsrechts, aber auch des Verwaltungsrechts behördlicher Genehmigungen. Wie schnell kann man in Staat Y einen säumigen Mieter aus der Wohnung werfen? Eine Frage des Vertragsrechts und des Zivilprozessrechts. Wie leicht kann man in Staat Z seinen Angestellten kündigen? Eine Frage des individuellen und des kollektiven Arbeitsrechts.

→



# ZUR SACHE

---

RALF  
MICHAELS



Ralf Michaels studierte Rechtswissenschaften in Passau und Cambridge. Nach Abschluss der juristischen Staatsexamen und des Master of Laws (LL.M.) forschte und lehrte er siebzehn Jahre an der Duke University School of Law in den USA. Seit 2019 ist Ralf Michaels Direktor am Max-Planck-Institut für ausländisches und internationales Privatrecht. Zudem hat er Professuren an der Queen Mary University of London und an der Universität Hamburg inne. Seine Forschungsschwerpunkte sind die Rechtsvergleichung, der Bereich Recht und Globalisierung sowie das internationale Privatrecht und die Privatrechtstheorie.

ILLUSTRATION: SOPHIE KETTERER FÜR MPG

---

Der *Doing Business*-Report war auch ein rechtsvergleichendes Projekt, weil er die beobachteten Länder miteinander verglich. Solche Vergleiche zwischen rechtlichen Regelungen verschiedener Länder sind seit jeher ein Kerngebiet der Rechtsvergleichung. Die Hauptaufgabe dieses rechtswissenschaftlichen Fachgebiets besteht traditionell darin, Gemeinsamkeiten und Unterschiede zwischen den Rechtsordnungen verschiedener Staaten zu erkennen, zu erklären, zu bewerten und vielleicht auch durch Rechtsvereinheitlichung zu überwinden. Darüber hinaus beschäftigt sich die Rechtsvergleichung mit sogenannten *legal transplants*, der Übernahme von Rechtsregeln von einem Rechtssystem in ein anderes. Dazu gehören etwa die Etablierung des englischen *common law* in den Ländern des Commonwealth nach deren jeweiliger Unabhängigkeit oder die Reform des Kartellrechts in Mexiko nach dem Modell der Vereinigten Staaten Ende des 20. Jahrhunderts. Insbesondere im Rahmen der Entwicklungshilfe bieten sich *legal transplants* als Mittel der Wirtschaftsförderung an. Man hofft, dass Rechtsregeln, die in reichen Staaten zum Funktionieren der Wirtschaft geführt haben, die wirtschaftliche Entwicklung ärmerer Staaten beflügeln werden. Der *Doing Business*-Report ist ein Paradebeispiel dafür: Er definiert sogenannte Best Practices, die anderen Staaten zur Nachahmung empfohlen werden.

18

RUANDA GALT  
ALS ERFOLGS-  
STORY: DAS LAND  
STIEG IM REPORT  
DER WELTBANK  
VON PLATZ 139  
AUF PLATZ 32

Eigentlich ist die Rechtsvergleichung auf all das ein wenig stolz. Andere juristische Disziplinen, so meint sie, seien engstirnig und nationalistisch: Sie hielten ihr eigenes nationales Recht für den einzig relevanten Maßstab und wüssten nichts von der Welt. Die Rechtsvergleichung dagegen habe ein Bewusstsein für die Vielfalt des Rechts weltweit. Erst durch das Gegenüberstellen verschiedener Systeme, so ein Credo der Rechtsvergleichung, sei Recht vor dem Hintergrund der Globalisierung überhaupt richtig verstehbar. Nur wer sich mit vielen unterschiedlichen Rechtsordnungen befasse, habe ein überlegenes Arsenal möglicher Lösungen. Und Rechtsverbesserung sei ohne Rechtsvergleichung nicht wirklich möglich.

Doch es gibt auch Kritik: Lange Zeit beschäftigte sich die Rechtsvergleichung vor allem mit europäischen und nordamerikanischen Rechtsordnungen. Wo sie andere Rechtsordnungen zur Kenntnis nahm, sah sie diese lediglich als minderwertige Kopien ihrer europäischen Vorbilder: nigerianisches Recht als minderwertiges englisches Recht, japanisches Recht als Abklatsch des deutschen Rechts und so weiter. Implizit, so der Vorwurf des Eurozentrismus, bestand also eine Hierarchie, mit europäischen Staaten an der Spitze. Dem *Doing Business*-Report, so scheint es, kann man den Vorwurf des Eurozentrismus dagegen nicht machen. Zwar standen zunächst typische OECD-Staaten wie die USA, Kanada, die Schweiz oder Singapur an der Spitze seines Rankings. Bald jedoch stiegen einige Entwicklungsländer auf. Ruanda etwa galt als Erfolgsstory: Von 2009 bis

## EUROPA UND DIE USA REGIEREN DIE WELT WEITER- HIN IN DEN STRUKTUREN VON WISSEN UND DENKEN

2010 bewegte sich das ostafrikanische Land von Platz 139 auf Platz 67; 2014 belegte es Platz 32. Georgien, 2006 noch auf Platz 100, war 2019 das sechstbeste Land im weltweiten Ranking der Wirtschaftsfreundlichkeit. Gerade weil die Messung neutrale Indikatoren suche, so die Weltbank, helfe sie bei der Überwindung von Vorurteilen zulasten nicht-europäischer Rechtsordnungen. Sie sei daher emanzipatorisch.

Genau hier setzt nun die dekoloniale Kritik an. Sie geht davon aus, dass die (europäische) Moderne seit jeher verbunden ist mit der Kolonialität als ihrer untrennbaren Schattenseite. Freiheit, Gleichheit und Wohlstand in Europa gingen nicht nur einher mit Unterdrückung, Ungleichbehandlung und Ausbeutung der Kolonien und ihrer Subjekte: Sie wurden dadurch erst möglich gemacht. Um die Unterdrückung und Ausbeutung zu legitimieren, musste man die Überlegenheit der Europäer und ihres Denkens behaupten – eine Art historisches Ranking. Und der Maßstab für dieses Ranking wurde seinerseits europäischen Wertvorstellungen entnommen, die damit universalisiert wurden. Kolonialität bedeutete also eine doppelte Herrschaft Europas über den Rest der Welt – nicht nur durch militärische und wirtschaftliche Übermacht, sondern auch durch die Macht, das Wissen und Denken zu determinieren.

Die Epoche der Kolonialisierung ist Vergangenheit, und aus ehemaligen europäischen Kolonien sind, mit wenigen Ausnahmen, formal unabhängige Staaten geworden. Doch die Kolonialität ist damit nicht überwunden. Nach wie vor geben Europa und die USA die Standards vor, an denen sich der Rest der Welt messen muss. Europäische Werte und Ideen, die aus der spezifisch europäischen Geschichte stammen, eine Form des Kapitalismus, die aus Europa und den USA stammt, werden weiterhin als universal bezeichnet und so dem Rest der Welt übergestülpt. Europa und die USA regieren die Welt nicht mehr politisch, wohl aber weiterhin in den Strukturen von Wissen und Denken.

Auf das Recht und die Rechtsvergleichung wurde die dekoloniale Theorie bislang selten angewandt. Aber gerade der *Doing Business*-Report bietet ein gutes Beispiel dafür, worum es in dem Ansatz geht und was er leisten kann. Es ist schon einmal möglich, dass Länder des Globalen Südens im Ranking erfolgreicher sind als europäische Länder. Der Preis ist, dass diese Länder sich ganz auf die Standards und Erwartungen des Projekts einstellen, die nun einmal europäisch und US-amerikanisch geprägt sind. In Ruanda etwa hat die Umstellung des Wirtschaftssystems auf die Erfordernisse des *Doing Business*-Reports zwar das Ranking verbessert, aber auch zu großer Unzufriedenheit geführt. Ob sich der Anpassungswille der Regierung auszahlt, ist fraglich. Möchte man wirklich lieber in Georgien Geschäfte machen als in den USA, lieber in Aserbaidschan als in Israel, nur weil Georgien und Aserbaidschan im Ranking einmal höher stehen?



DAS RANKING  
VERGLEICHT  
FORMAL SELBST-  
STÄNDIGE  
STAATEN, BLEIBT  
ABER IN HOHEM  
MASSE KOLONIAL

Letztlich priorisiert der *Doing Business*-Report eben vielleicht nicht europäische Länder, wohl aber implizit europäisches Recht. So wird viel Gewicht auf formale Rechtsregeln gelegt, die in Ländern des Globalen Nordens handlungsleitend sind, anderswo weniger. Wenn die Rechtsvergleichung Staaten vergleicht, ist sie blind für nichtstaatliches Recht. Lokale Bräuche und Mechanismen zur Streitbeilegung, die im Globalen Süden eine wichtige Rolle spielen, erscheinen als Schwächung des staatlichen Gewaltmonopols und nicht als alternative, vielleicht sogar überlegene Normen.

Wenn der *Doing Business*-Report Regeln des Globalen Nordens als Vorbilder für den Globalen Süden vorschlägt, legt er ein technisches und akulturelles Verständnis von Recht zugrunde. „One size fits all“, hieß es im ersten *Doing Business*-Report. Diese Herangehensweise unterschätzte die Frage, ob solche Regeln im Globalen Süden funktionieren können – und ob ehemalige Kolonien, die heute formal unabhängig sind, solchen Regeln der ehemaligen Kolonialmächte unterworfen sein wollen.

Ein Projekt wie der *Doing Business*-Report vergleicht also zwar formal selbstständige Staaten, bleibt dabei aber doch in hohem Maße kolonial. Er fördert die Universalisierung von Rechtsregeln des Globalen Nordens nicht durch politische Rekolonialisierung und gewaltsames Inkraftsetzen solcher Regeln, sondern indem er eine bestimmte rechtliche Rationalität für allgemeingültig erklärt und mittels eines Rankings zum Maßstab macht. Länder des Globalen Südens werden nicht gezwungen, diese Rationalität zu übernehmen. Aber wenn sie es nicht tun, werden sie im Ranking abgewertet.

Das Resultat ist nicht einfach eine Hierarchie, die Länder des Globalen Nordens über solche des Globalen Südens stellt. Stattdessen tritt etwas Perfideres zutage: Die Länder, die die Rationalität des Globalen Nordens übernehmen, stehen allein dadurch über jenen, die das nicht tun. Die Messung gibt sich indes wissenschaftlich neutral und rein deskriptiv. In Wirklichkeit transportiert sie eine starke Normativität in ihr Untersuchungsobjekt: die Normalisierung von Prinzipien des Globalen Nordens.

Wie könnte eine dekoloniale Rechtsvergleichung aussehen, die sich dem widersetzt? Der Universalität westlicher Werte und Rechte kann sie die Idee der Pluriversalität entgegensetzen – vereinfacht gesagt: das Konzept einer Welt, innerhalb derer viele Welten möglich sind. In einem Pluriversum hätte auch das europäische Recht seinen Platz, aber lediglich als eines von vielen Systemen, ohne den Anspruch allgemeiner Gültigkeit, der ihm derzeit innewohnt. Ein solcher Ansatz ist also nicht antieuropäisch, wohl aber antikolonial und damit auch antiuniversalistisch.

EUROPAS  
UNIVERSALISMUS  
HAT UNS BLIND  
GEMACHT DAFÜR,  
WAS ALLES  
MÖGLICH WÄRE

Abgekoppelt vom europäischen Universalismus werden auf einmal Optionen möglich, die innerhalb der europäischen Sichtweise nicht plausibel erschienen. Eine pluriversale Herangehensweise an das Recht in der Welt würde es etwa möglich machen, auch indigene Ansätze zu beleben, wie beispielsweise die südafrikanische *ubuntu* oder das südamerikanische *buen vivir*. Ansätze wie diese stellen oftmals nicht das Individuum mit seinen Rechten in den Mittelpunkt, wie es europäisches und US-amerikanisches Recht tun, vielmehr betonen sie den Einklang mit der Gemeinschaft und der Natur.

Pluriversalität bedeutet nun nicht, dass diese Prinzipien an die Stelle des europäischen Individualismus treten. Denn das wäre nur der Austausch eines Universalismus gegen einen anderen. Wohl aber bedeutet Pluriversalität, dass europäische und außereuropäische Auffassungen als gleichwertig angesehen werden. Damit wird keineswegs einem moralischen oder rechtlichen Relativismus das Wort geredet, in dem jede Rechtsordnung gleichermaßen legitim wäre. Das wäre schon deshalb unangemessen, weil auch viele Rechtsordnungen des Globalen Südens durch Kolonialität geprägt sind. Vermieden werden könnte eine Situation, in der ausschließlich europäische Maßstäbe auf die Rechtsordnungen der gesamten Welt angewendet würden.

Was das für ein Neudenken des Rechts im Einzelnen bedeutet, bedarf der genaueren Analyse. Aber es scheint klar: Mit einer pluriversalen Welt ist ein Projekt wie der *Doing Business*-Report, auch in reformierter Form, unvereinbar. Denn es ist nicht akzeptabel, sämtliche Rechtssysteme an einem Maßstab zu messen, der dem Globalen Norden entliehen ist und dessen Rechtsordnungen und Werte privilegiert. Es ist nicht vertretbar, dass durch ein solches Ranking Hierarchien fortgesetzt und verfestigt werden. Undenkbar ist auch, dass Rechtsordnungen durch den Zwang zu einem globalen Wettbewerb an einer eigenen Entwicklung gehindert werden. An die Stelle universalistischer Sichtweisen tritt die Hoffnung auf ein wahrhaft plurales Verständnis des Rechts in der Weltgesellschaft, in dem alternative Rechtsmodelle möglich sind und nachhaltige Rechte vielleicht nicht durch einen Verdrängungswettbewerb untergehen müssen.

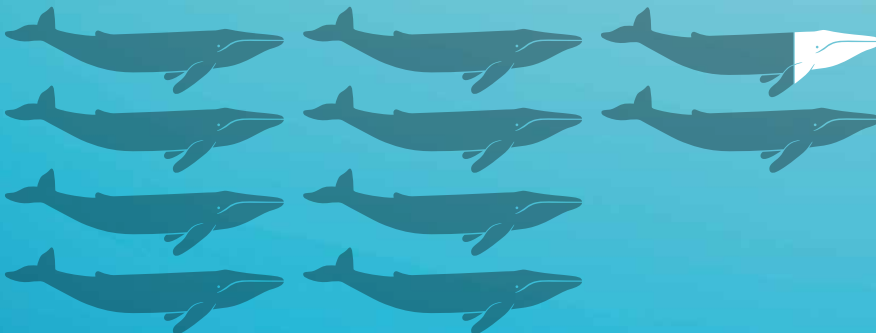
Klingt das utopisch? Vielleicht. Aber das liegt sicher auch daran, dass der europäische Universalismus uns blind gemacht hat dafür, was alles möglich wäre. Dass wir blind sind, weil die Rechtsvergleichung eben doch letztlich im europäischen Paradigma verhaftet bleibt. Die Hoffnung dekolonialer Rechtsvergleichung liegt darin, solche Rechte möglich zu machen, die bislang unmöglich erscheinen. Ohne Ranking.



# DAS MEER GERÄT AUS DEM GLEICHGEWICHT



**-97 %**

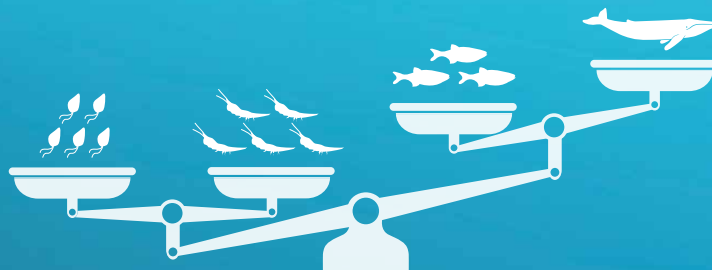


1850 lebten 340 000 Blauwale in den Ozeanen, heute gibt es noch 10 000 dieser Tiere. Das ist ein Rückgang von 97 Prozent.

Bevor der Mensch Fischerei und Walfang industriell betrieb, war das Leben in den Ozeanen in Balance: Jede Gewichtsklasse von Lebewesen brachte in etwa die gleiche Biomasse auf die Waage – eine Milliarde Tonnen. Der Grund: Von den kleineren, leichteren Organismen gibt es entsprechend mehr Individuen. So wogen zu Beginn der industriellen Ausbeutung der Meere im Jahr 1850 zum Beispiel alle Fische der Ozeane, die ein Gewicht zwischen 10 und 100 Kilogramm haben, zusammen genauso viel wie das Meeresplankton zwischen 10 und 100 millionstel Gramm. Heute besteht dieses Gleichgewicht nicht mehr.

22

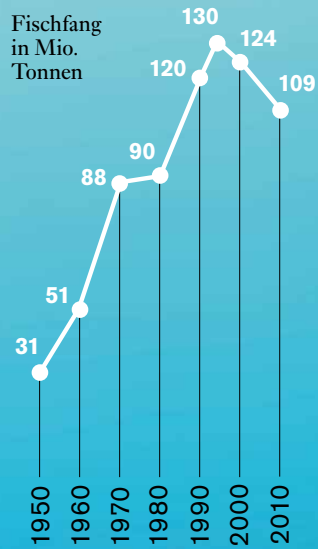
**HEUTE**



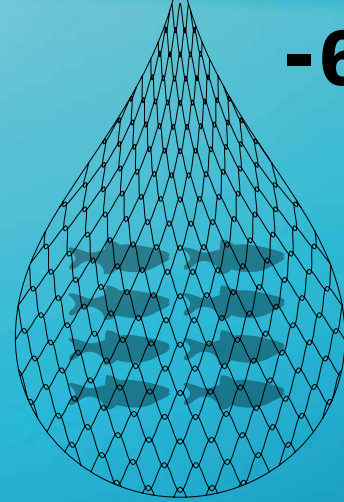
**IM JAHR 1850**



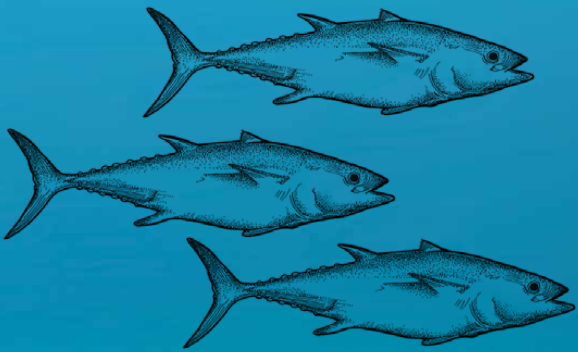
GRAFIK: GGO, ILLUSTRATION: VALERIA DUMLER, ICONS: ISTOCK



**-66 %**



Die Meere werden immer leerer: Die Masse der kommerziell verwertbaren Fische (> 10 Gramm, 0–200 Meter Tiefe) ist seit 1850 um 66 Prozent gesunken. 1996 erreichte die Fischerei ihren Höhepunkt: 130 Millionen Tonnen Fisch wurden damals aus dem Meer geholt. Seitdem gehen die Mengen trotz immer höheren Aufwands kontinuierlich zurück.



# IM FOKUS

---

## DIE GEFÜHLE MÜSSEN RAUS

**24** | Wohldosierte Emotionen

**32** | Im Netz der Angst

**38** | Roboter mit sanfter Hand

24

FOTO: PICTURE ALLIANCE / ASSOCIATED PRESS / CHARLES DHARAPAK

Staatsmännisch:  
Barack Obama als  
erster afro-  
amerikanischer  
US-Präsident  
knüpfte bewusst  
an den Stil seiner  
Vorgänger an.





# WOHLDOSIERTE EMOTIONEN

*TEXT: MECHTHILD ZIMMERMANN*

25

Politische Entscheidungen, so das klassische Dogma, sollten rational und vernünftig getroffen werden, keinesfalls emotional. Doch die Realität sieht von jeher anders aus. Welche Bedeutung Gefühle für politische Ereignisse, für den Aufstieg und Fall von Herrschenden haben und hatten, ist das zentrale Thema von Ute Frevert und ihrem Team am Max-Planck-Institut für Bildungsforschung in Berlin. Ihre Erkenntnisse über die Vergangenheit erhellen auch manch aktuelle Geschehnisse.

Konträres Gebaren:  
Der erste Präsident der  
Vereinigten Staaten,  
George Washington  
(links auf dem berühmten  
*Lansdowne Portrait*),  
führte noch aristokrati-  
sche Traditionen fort.  
Donald Trump als  
45. Präsident brach ge-  
zielt mit den politischen  
Konventionen, um  
Wähler zu mobilisieren,  
die sich von der  
bisherigen Elite aus-  
gegrenzt fühlten.



BILD: GILBERT STUART/NATIONAL PORTRAIT GALLERY



26

Von Angela Merkel wird nach sechzehn Jahren im Kanzleramt sicher eines im Gedächtnis bleiben: ihr nüchterner, rationaler Stil. Nur selten ließ sie sich dazu hinreißen, ihre Gefühle offen zu zeigen. Und doch sind es gerade die emotionalen Momente ihrer Kanzlerschaft, die in der Rückschau hervorstechen: Merkels Torjubel, als die deutsche Nationalelf 2014 Weltmeister wurde, ihre Entscheidung, syrischen Flüchtlingen in der Notlage 2015 die Grenzen zu öffnen, ihre eindringlichen Appelle, in der Coronakrise auf Kontakte zu verzichten, um gefährdete Mitmenschen zu schützen, oder die sichtliche Rührung, mit der sie ihren Amtskollegen Emmanuel Macron beim Abschiedsbesuch in Frankreich umarmte. Warum sind uns diese Emotionen so wichtig? Reicht es nicht, die politische Linie der Bundeskanzlerin zu kennen? Warum interessiert es uns, worüber sie sich freut oder was sie bewegt? Eine erste Antwort ist: weil wir Menschen sind und uns als sozi-

ale Wesen für die Gefühle anderer Menschen interessieren. Weil wir eben keine rationalen Nutzenmaximierer sind, wie es viele Wirtschaftstheorien idealisiert behaupten. Im Gegenteil: Gefühle spielen überall eine Rolle, wo Menschen miteinander zu tun haben, und damit auch in der Politik. Daher hat vermutlich genau die Verbindung von sachorientierter Politik, zurückhaltendem Auftreten ohne Selbstdarstellung und ebenjeneren selten, aber ungekünstelten emotionalen Momenten Angela Merkel Anerkennung und Vertrauen in der Bevölkerung eingebracht.

## Gunst gewinnen, Macht sichern

Um genauer zu verstehen, welche Rolle Gefühle in der Politik spielen, lohnt sich ein Blick in die Vergangenheit. Auch die historische Forschung hat das Thema



FOTO: REUTERS/DOMINICK REUTER

Emotionen lange Zeit vernachlässigt. Dass sich das seit einigen Jahren ändert, ist ganz wesentlich ein Verdienst von Ute Frevert, Direktorin am Max-Planck-Institut für Bildungsforschung in Berlin. „Wer wissen will, wie es kommt, dass sich Menschen vergesellschaften, dass sie gemeinsame Ziele entwickeln und verfolgen, dass sie sich aber auch wieder entzweien, getrennte Wege gehen, sich verfeinden und einander Schaden zufügen, kann Gefühle und deren Gestaltungskraft nicht geringerschätzen“, begründet die Historikerin ihren Ansatz. Die Ergebnisse ihres Forschungsbereichs zeigen, dass viele Aspekte der Geschichtsschreibung in neuem Licht erscheinen, wenn Emotionen wie Angst, Wut und Hass, aber auch Hoffnung, Vertrauen und Mitleid in die Analysen einbezogen werden. So lässt sich beispielsweise beleuchten, wie sich das Verhältnis zwischen Volk und Regierenden in der Vergangenheit entwickelt und gewandelt hat.

Ute Frevert hat dazu die Entwicklungen seit der Französischen Revolution in den Blick genommen. Der epochale Umsturz, der 1789 in Paris begann, führte zu grundlegenden Änderungen in ganz Europa. Das Volk war mit Macht auf die politische Bühne getreten. Nach der Absetzung und Hinrichtung des französischen Königspaares mussten sich die europäischen Monarchen um ihre Sicherheit und ihren Herrschaftsanspruch sorgen. Hier kommt ins Spiel, was Ute Frevert als „Gefühlspolitik“ definiert hat – dass Machthaber sich aktiv darum bemühen, ihre Untertanen emotional für sich einzunehmen: „Gefühlspolitik war eine Möglichkeit, die eigene Macht zu sichern“, erläutert Frevert. „Macht braucht ‚Fügsamkeit‘, wie es der Soziologe Max Weber genannt hat, also die Zustimmung der Beherrschten. Diese Fügsamkeit lässt sich natürlich durch Gewalt herstellen. Es funktioniert aber besser, wenn die Menschen sich freiwillig fügen. Dazu muss man sie überzeugen oder, noch besser, ihnen Vertrauen einflößen, ihre Zuneigung gewinnen, vielleicht sogar ihre Liebe.“

## Könige mussten Bürger hofieren

Eine Möglichkeit, dieses Ziel zu erreichen, war, den Bürgern positive Gefühle zu zeigen, sei es in öffentlichen Grußbotschaften, in Bekanntmachungen oder bei persönlichen Auftritten. Frevert hat dafür zahlreiche Belege gefunden, etwa einen Brief der preußischen Königin Luise, die 1798 an ihren Bruder schrieb: „Ich werde alles anwenden, um ohne Zwang die Liebe der Untertanen durch Höflichkeit, zuvorkommendes Wesen, Dankbarkeit [...] zu gewinnen und zu verdienen.“ Für die hohen Damen und Herren war die Inszenierung ihrer Volksliebe nicht immer erquicklich, wie ein weiterer Brief zeigt, den Luise 1794, damals noch Kronprinzessin, an ihren Mann richtete. Anlass war eine Einladung des Thronfolgerpaares zu Kaffee und Kuchen bei der Potsdamer Schützengilde. „Denk Dir nur, was für eine reizende Vergnügenspartie uns heute erwartet“, schreibt sie süffisant. „Was bleibt uns also übrig, wir müssen, wollen wir oder nicht, uns schmoren lassen und vielleicht sogar toll werden, um die Ehre zu haben, den Bürgern die cour zu machen.“ Die Herrschenden fühlten sich verpflichtet, ihrem Volk den Hof machen.

Die Anekdote zeigt dabei auch die andere Seite der Gefühlspolitik, die Ute Frevert in ihrer Forschung ebenfalls betont: „Die Bürger sind ja keine passiven Empfänger emotionaler Botschaften und reagieren auf die Signale von oben nicht per se mit Wohlwollen, sondern sie haben Erwartungen, Vorlieben, vielleicht sogar Forderungen. Und da liegt das Risiko für den Herrscher: Wer um die Liebe der Bürger wirbt, kann scheitern. Und er signalisiert auch noch, dass er es nötig hat.



Er gibt also damit gewissermaßen einen Teil seiner Macht ab.“ Dieses Dilemma verschärfte sich im Laufe des 19. Jahrhunderts, als der Trend zu Demokratisierung und Teilhabe der Bürger zunahm (die Frauen waren damals oft noch ausgeschlossen). Die Verbindung zwischen Herrscherhaus und Volk musste daher immer aufs Neue gepflegt und lebendig erhalten werden. Eine Möglichkeit waren Festlichkeiten zum Geburtstag des Königs, die in den Städten und Gemeinden äußerst beliebt waren. Wobei es „das Volk“ schon damals so nicht gab. Die ständische Gesellschaft mit ihrer fixen Gliederung in Adel, Klerus, Bürger und Bauern löste sich gerade endgültig auf und machte der bürgerlichen Klassengesellschaft Platz. Darin bildeten sich unterschiedliche Gruppen, Parteien und soziale Bewegungen, deren Interessen teilweise deutlich auseinandergingen. Wohl auch deswegen breitete sich die Idee des Nationalismus zu dieser Zeit so schnell und erfolgreich aus: Sie wirkte als einende Kraft, veränderte aber auch die Rolle der Herrschenden: Der König, die Königin oder der Kaiser wurden zu nationalen Identifikationsfiguren und zu obersten Repräsentanten der Nation. Die Erwartungen der Bürgerinnen und Bürger stiegen entsprechend.

28

## Autogrammkarten des Kaisers

Ute Frevert hat herausgearbeitet, dass in dieser Zeit die Sehnsucht im Volk wuchs, dem König oder Kaiser persönlich nahe zu kommen, ihn zu sehen, ihm vielleicht sogar die Hand zu drücken. Signierte Fotografien des deutschen Kaisers waren um die Wende vom 19. zum 20. Jahrhundert äußerst populär, wie zahlreiche Autogrammanfragen an Wilhelm II. belegen. Männer, wie die Mitglieder rheinischer Kriegervereine, formierten sich zum Spalier, wenn der Kaiser in ihrer Gegend unterwegs war, um ihm bei der Durchreise die Ehre zu erweisen. Dabei ging es ihnen aber auch darum, von ihm gesehen zu werden, wie eine zeitgenössische Quelle beschreibt: „[...] ein Blick aus seinem lieben Auge sollte ihnen wohl tun, sie wollten empfinden, dass sein Auge noch für sie da ist“. Umso größer waren Enttäuschung und Empörung, als Wilhelm II. 1906 auf einer Reise im Rheinland an den Männern, die ihn erwarteten, mit dem Automobil einfach vorbeiraste.

Allerdings richteten sich Liebe und Anhänglichkeit der Bürgerinnen und Bürger ohnehin nicht automatisch auf den Kaiser – oder zumindest nicht auf ihn allein, wie Frevert darlegt. Ein guter Hinweis darauf sind Bilder von Politikern, die in den deutschen Wohnstuben hingen. „Da fanden sich zum Beispiel Porträts von Otto von Bismarck und Königin Luise, aber nicht unbedingt vom Kaiser selbst“, berichtet die Historikerin. „Oder manche Sozialdemokraten hängten neben das Bild des Monarchen ihre Helden der Arbeiterbewe-



BILD: FRIEDRICH GEORG WEITSCH

gung wie Ferdinand Lassalle oder August Bebel.“ Die ersten demokratisch gewählten Herrscher genossen zum Teil ähnliche Verehrung wie ihre aristokratischen Vorgänger. Das lässt sich auch für den ersten US-amerikanischen Präsidenten, George Washington, beobachten. Kerstin Maria Pahl, eine Forscherin in Ute Freverts Team, hat sich genauer mit ihm und seiner Zeit befasst. „Washington war damals durchaus umstritten“, erklärt Pahl. „Es ging unter anderem um die Frage, wie viel Macht bei der Zentralregierung liegt und wie viel bei den Einzelstaaten – übrigens einer der Ursprünge der heutigen politischen Gegensätze in den USA.“ Und trotzdem, erzählt Pahl, waren gemalte oder gedruckte Kopien von Porträts George Washingtons schon während seiner Amtszeit weit verbreitet. „Sie hingen in Privathäusern, in Gaststätten, in öffent-



FOTO: PICTURE ALLIANCE / DPA / MARCUS BRANDT

Zurückhaltung und Euphorie: In den 2000er-Jahren wurde es üblich, dass auch hochrangige Politiker beim Fußball ihrem Jubel freien Lauf lassen konnten – wie hier Bundeskanzlerin Merkel und Bundespräsident Gauck bei der WM 2014 in Brasilien. Für Königin Luise und Friedrich Wilhelm III. von Preußen wären Ende des 18. Jahrhunderts solch ausgelassene Gefühlsäußerungen undenkbar gewesen.

29

lichen Gebäuden, sie wurden in Alben gesammelt. Es gab damals eine enge emotionale Bindung an den neuen Staat, das zeigen viele Berichte aus der Gründungszeit der USA. Und diese starken Gefühle galten auch dem Präsidenten.“

## Wutanfälle statt Besonnenheit

Kerstin Maria Pahl wurde in Kunst- und Bildgeschichte promoviert. In ihren Untersuchungen erfasst sie deshalb auch, welche Gefühlshaltung die Herrschenden in den Bildern verkörpern. Das sogenannte *Lansdowne Portrait*, eines der berühmtesten Gemälde von George Washington, zeigt den amerikanischen Präsidenten in der Tradition europäischer Könige mit einem Aus-

druck von Entschlossenheit, aber gleichzeitig ruhig und besonnen. Das Bild sagt damit viel über die zeitgenössischen Ideale, die man von einem Staatsoberhaupt und dessen Gefühlsäußerungen hatte. „Eine der wichtigsten Anforderungen damals spiegelt sich sehr treffend in dem Begriff *composure* wider. Dieser beschreibt eine gefasste Gemütsruhe, unter der sich eine tiefe Emotionalität, ja sogar eine Passion verbirgt, die aber nur sehr moderat nach außen getragen wird.“ Von Washington ist ein Auftreten in diesem Sinne vielfach überliefert, ebenso von vielen seiner Nachfolger.

Der 45. Präsident der Vereinigten Staaten brach sichtbar mit dieser Tradition. Donald Trump fiel in seiner Amtszeit durch Wutausbrüche, Ausfälligkeiten, ja allgemein durch – vermeintlich – impulsives Verhalten



auf. Und das ganz bewusst, vermutet Kerstin Maria Pahl. Um den Bruch einzuordnen und den Erfolg dieses Vorgehens zu verstehen, muss einem klar sein: In der Gesellschaft und ihren Institutionen existiert eine Vielzahl ungeschriebener Regeln, die festlegen, welche Gefühle man im jeweiligen Kontext in welcher Weise ausdrücken darf. So wird ein und dieselbe Person im Parlament ihre Emotionen anders zum Ausdruck bringen als in der Familie und wiederum anders bei einem Besuch im Seniorenheim. Diese Normen sind zudem immer wieder im Wandel. Pahl nennt als Beispiel Politik und Fußball. Noch Ende der 1990er-Jahre hatte Fußball eher ein Schmutzimage. Erst seit der Weltmeisterschaft 2006 in Deutschland beschäftigen sich auch Intellektuelle in der Öffentlichkeit damit. Und seither können auch hochrangige Politikvertreter im Stadion ihrem Jubel freien Lauf lassen, wie im Jahr 2014 Bundeskanzlerin Merkel und Bundespräsident Gauck bei der Fußball-WM in Brasilien. Dies war übrigens eine der sehr wenigen Gelegenheiten, bei denen die beiden gemeinsam an einem Ort waren – ansonsten war dies vor allem bei den Gedenkfeiern für die Opfer des Nationalsozialismus im Bundestag der Fall.

Ein Wandel solcher Gefühlsnormen kann allmählich erfolgen oder aber durch einen bewussten Bruch. „Manchmal gibt es so etwas wie einen *tipping point*, an dem die alten Regeln plötzlich nur noch wie erstarrte Konventionen wirken, geradezu mumifiziert“, erläutert Pahl. „Wenn dann jemand kommt und gezielt sagt: ‚Es interessiert mich nicht mehr, wie ihr das gemacht habt, ich mache das neu!‘, kann das sehr verführerisch sein.“ Eine Abkehr von Konventionen kann bahnbrechend wirken, revolutionär und mutig – wenn die Zeit reif dafür ist. Donald Trump war möglicherweise im US-Präsidentenwahlkampf 2016 einfach zur richtigen Zeit am richtigen Ort. Und er konnte mit seinem Auftreten Menschen mobilisieren, die sich von der Attitüde und der Sprache der bisherigen politischen Elite nicht mehr repräsentiert oder ausgeschlossen fühlten.

Interessant ist, dass Medien im In- und Ausland Donald Trump gerade im Kontext seiner Coronapolitik auffallend oft als „kaltherrig“ oder „gefühllos“ beschrieben. Kerstin Maria Pahl hat diese Zuschreibung aus der historischen Perspektive analysiert. Demnach war Ge-

fühllosigkeit schon in der Aufklärung im 18. Jahrhundert ein äußerst negatives Attribut. Adam Smith, schottischer Moralphilosoph und Begründer der klassischen Nationalökonomie, der heute vor allem für seine Theorie der unsichtbaren Hand des Marktes bekannt ist, sah im Mitfühlen die Basis für den sozialen Zusammenhalt. Gefühllosigkeit dagegen galt ihm als die härteste Form der Ausgrenzung, denn sie leugne die grundsätzliche Ähnlichkeit der Menschen. „Der Vorwurf der Kaltherrigkeit war bereits in der Vergangenheit oft ein Kampfbegriff, um Gegner zu diffamieren und sich selbst von ihnen abzugrenzen“, sagt Pahl. „Allerdings gibt es auch den Effekt, dass bestimmte Formen von Emotionslosigkeit oder Gleichgültigkeit durchaus positiv gewertet werden können: als unvoreingenommen, sachlich oder einfach als sehr cool.“

---

### AUF DEN PUNKT GEBRACHT

Nach der Französischen Revolution begannen Monarchen den Bürgern positive Gefühle zu zeigen, um sich Anerkennung zu verschaffen und so ihre Macht zu sichern.

Auch heute gibt es Erwartungen, welche Emotionen Politiker in der Öffentlichkeit ausdrücken können, um „staatsmännisch“ zu wirken. Donald Trump hat als US-Präsident bewusst dagegen verstoßen.

Je mehr Menschen an Politik teilhaben, desto vielfältiger werden die Gefühle, die aufeinandertreffen; emotionales Management wird zu einer wichtigen Kompetenz

---

## Denken und Fühlen sind nicht zu trennen

Letztlich sind Gefühlsäußerungen, ihre Wahrnehmung und Auslegung oft mehrdeutig, die dahinterliegenden Normen ändern sich immer wieder. Eindeutig ist dagegen: Gefühle sind aus der Politik nicht wegzudenken. Und sie lassen sich auch nicht vom rationalen Denken und Entscheiden trennen – übrigens auch deswegen nicht, weil Denken und Fühlen im menschlichen Gehirn eng aufeinander bezogen sind, wie Ute Frevert hervorhebt.

Darüber hinaus zeigt sich mit Blick auf die Geschichte: Je mehr Menschen an Politik teilhaben können, desto mehr und desto vielfältiger werden die Emotionen, die eine Rolle spielen. Frevert illustriert das mit einem aktuellen Beispiel: „Wenn Sie auf dem Marktplatz stehen – das war ja ein Bild, das Olaf Scholz im Wahlkampf gerne verwendet hat – und es pfeift aus der einen Ecke und aus der anderen Ecke jubelt es, dann müssen Sie darauf eingehen, aber ohne mit der Faust auf den Tisch zu schlagen oder selber in Geschrei auszubrechen. Dieses emotionale Management wird schwieriger in dem Maße, in dem Politik zu einer Sache der vielen wird.“ Wie Politikerinnen und Politiker damit umgehen, daran müssen sie sich wohl künftig messen lassen, allen voran der neue Bundeskanzler, Olaf Scholz.

[www.mpg.de/podcasts/emotionen](http://www.mpg.de/podcasts/emotionen)



# FORSCHUNG LEICHT GEMACHT

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

[www.mpg.de/mpf-mobil](http://www.mpg.de/mpf-mobil)

[www.mpg.de/mpforschung](http://www.mpg.de/mpforschung)

KOSTENLOS  
DOWNLOADEN!








# IM NETZ DER ANGST

TEXT: LAURA BECK

FOTO: BIOSPHOTO / FOTOFINDER.COM



Diese australische Pfauenspinne ist in Wirklichkeit nur fünf Millimeter groß. Doch selbst ein solcher Winzling kann bei Spinnphobikern Angst auslösen. Pfauenspinnen besitzen bis zu acht Augen, von denen die beiden frontalen besonders gut entwickelt sind und auch Farben wahrnehmen können. Mit ihnen fixiert das Tier seine Beute und wählt den richtigen Paarungspartner aus.

Menschen, die schreiend vor kleinen Spinnen davonlaufen, lösen bei ihren Mitmenschen oft Heiterkeit aus. Aber für die Betroffenen ist die ausgeprägte Angst vor Spinnen alles andere als lustig. Am Max-Planck-Institut für Psychiatrie in München arbeitet Florian Binder in der Forschungsgruppe um Victor Spoormaker daran, Angststörungen mithilfe von virtueller Realität besser zu verstehen und eine standardisierte Therapie zu entwickeln. Wie das funktioniert, hat die Autorin in einem Selbstversuch getestet.

Eine Virtual-Reality-Brille versetzt Florian Binders Kollegin Dorothee Pöhlchen in eine andere Welt. An ihrem Körper messen Beschleunigungssensoren ihre Bewegungen, die ein Computer dann in Bewegungen ihres virtuellen Körpers übersetzt.



FOTOS: STEFANIE AUMILLER FÜR MFG

**„Betroffene könnten sich künftig zu Hause voll automatisiert in der virtuellen Realität behandeln lassen.“**

*FLORIAN BINDER*



*Für die Angst vor Spinnen muss man sich meist nicht groß rechtfertigen. Schließlich gruselt sich fast jeder ein wenig vor den achtbeinigen Krabbeltieren. Nicht schön, vielleicht etwas nervig – aber ansonsten nicht weiter schlimm, könnte man meinen.*

*Was aber, wenn aus Unbehagen regelrechte Panik wird? So wie bei mir! Wenn ich lieber auf dem Sofa schlafe, als an einer Spinne vorbei ins Schlafzimmer zu gehen? Wenn ich beim Anblick einer Spinne kaum mehr an etwas anderes denken kann? Dann wird die Spinnenangst, die sogenannte Arachnophobie, zur Belastung. Und nicht nur das – sie kann mich sogar in Gefahr bringen: wenn sich eine Spinne beispielsweise von der Sonnenblende meines Autos abseilt und ich in Panik gerade noch rechts ranfahren kann. Jedes Jahr geraten Menschen aus diesem Grund in teils schwere Unfälle. Arachnophobie kann für die Betroffenen also zu einem echten Problem werden.*

Florian Binder ist Doktorand in der Forschungsgruppe von Victor Spoomaker am Max-Planck-Institut für Psychiatrie. Trotz der für Außenstehende oft übertriebenen Reaktionen von Spinnenphobikern tut er die Angststörung nicht als irrational ab. Lieber fragt er sich, ob eine Verhaltensweise adaptiv ist, ob sie also hilft zu überleben. Schließlich kann die Angst vor Spinnen durchaus sinnvoll sein. Der Biss von *Phoneutria nigriventer* zum Beispiel – umgangssprachlich; Bananenspinne – ist so giftig, dass er einen Erwachsenen töten kann. Aus diesem Grund ist es der Freiwilligen Feuerwehr Lauterbach in Hessen auch nicht zu verdenken, dass sie sich bei einem Einsatz Anfang 2021 nicht traute, das Tier lebend zu fangen, und ihm stattdessen mit einem Feuerlöscher den Garaus machte.

## Ein Gefühl messen

Angststörungen, zu denen Phobien zählen, sind die am häufigsten vorkommende psychische Erkrankung – ungefähr ein Viertel der Bevölkerung leidet irgendwann im Leben unter einer Angststörung. Dabei ist die spezifische Phobie, also die Angst vor einem bestimmten Objekt oder einer Situation, die häufigste Störung. Spoomakers Team will Phobien besser verstehen und ihre Symptome messbar machen. Die Angst vor Spinnen eignet sich dabei als Forschungsobjekt besonders gut, denn sie ist die häufigste Phobie in Deutschland. Außerdem richtet sie sich gegen ein spezifisches Objekt. Frauen sind fünfmal häufiger betroffen als Männer.

Für seine Studie untersucht Florian Binder Menschen mit und ohne Arachnophobie. Sein Experiment ist ein Pionierprojekt: Erstmals studieren Forschende das Verhalten und die Bewegungen von Phobikern, die völlig in eine virtuelle Realität eintauchen. Der Informatiker, Mathematiker und Psychologe kann damit Umgebungen programmieren, die zwar nur virtuell sind, aber echte Gefühle auslösen – sei es Angst vor Spinnen oder vor großer Höhe. Und diese Gefühle kann Binder messen. Angst messen – wie soll das gehen? Die an der Studie Teilnehmenden tragen eine Virtual-Reality-Brille. Darin sehen sie eine virtuelle Umgebung ähnlich wie in einem 3D-Kino – mit dem Unterschied, dass sie sich inmitten der virtuellen Welt befinden. Sensoren am Körper erfassen die Bewegungen und übertragen sie in die virtuelle Welt. Dadurch sehen die Testpersonen eine Repräsentation ihres Körpers und können ihre virtuellen Arme und Beine durch Bewe-



### AUF DEN PUNKT GEBRACHT

Phobien werden häufig behandelt, indem die Betroffenen mit dem angstausslösenden Objekt oder der Situation konfrontiert werden. Je nach Art der Phobie kann dies jedoch für die Patienten belastend oder gefährlich sein.

In einer virtuellen Umgebung lassen sich das Verhalten und die Körperreaktionen bei Angststörungen standardisiert erfassen.

Virtuelle Realität könnte in Zukunft auch Bestandteil der Therapie von Phobien sein.

gungen ihres echten Körpers steuern. Der visuelle Eindruck ist dabei so stark, dass die Teilnehmenden die virtuelle Umgebung als real empfinden.

Die Reaktionen der Versuchspersonen dienen dann als Maß für ihre Empfindung: Die Virtual-Reality-Brille misst die Pupillengröße der Teilnehmenden und verfolgt deren Blickrichtung. Elektroden zeichnen zudem den Herzschlag auf. Parallel dazu werden die Bewegungen erfasst. Die Forschenden fügen all diese Daten zusammen und können so zum Beispiel das typische Vermeidungsverhalten der Betroffenen analysieren. Auf diese Weise können wir erstmals objektive Daten über die Angst gewinnen. Die bisherigen Erkenntnisse zu psychischer Belastung und Vermeidungsverhalten bei Phobien stammen dagegen aus Selbsteinschätzungen. Solche subjektiven Angaben sind allerdings schwer vergleichbar, da die Betroffenen Fragen unterschiedlich interpretieren.

## Konfrontation als Therapie

Und so sind auch die heute verfügbaren Therapien individuell und schwierig zu standardisieren. Bei Arachnophobie arbeitet man mit der sogenannten Expositionstherapie, also dem Konfrontieren mit dem Objekt, das Angst auslöst: einer Spinne, zum Beispiel einer Tarantel. Zuerst in Form von Bildern und Filmen. Viele Menschen mit einer Angststörung setzen im Umgang mit der Furcht auf Vermeidung des auslösenden Reizes. Aber dies löst das Problem für die Betroffenen nicht – im Gegenteil, die Phobie kann dadurch immer größer werden. Deshalb sollen die Patientinnen und Patienten ihre Angst so weit abbauen lernen, dass sie sich einer echten Spinne immer weiter nähern und sie sogar berühren können. Taranteln stehen im Therapiealltag jedoch eher selten zur Verfügung. Außerdem ist diese Therapieform für viele Betroffene sehr belastend. Sie wird daher nur selten in Anspruch genommen.

*Wie aufwühlend eine Konfrontation mit dem Objekt meiner Angst sein kann, lerne ich, als ich zur Vorbereitung auf Binders Experiment die App Phobys der Universität Basel teste. Einer Studie zufolge empfinden Menschen nach dem Training mit Phobys weniger Angst vor Spinnen. Das Programm nutzt „Augmented Reality“ – also die Verschmelzung von virtueller und realer Welt. Damit projiziere ich mit meinem Smartphone eine virtuelle Spinne in meine reale Umgebung. Mit dem Tier soll ich mich dann in*

*verschiedenen „Schwierigkeitsstufen“ auseinandersetzen. Für mich ist die Konfrontation jedoch zu viel: Als die virtuelle Spinne im Handy auf meinem Esstisch sitzt, beschleunigt sich mein Herzschlag, und meine Hand fängt an zu zittern. Als dann die Spinne urplötzlich aus meinem Handy herauszuspringen scheint, werfe ich das Gerät vor Schreck in hohem Bogen durchs Zimmer. (Die App hat den Test inzwischen geändert, man kann nun zwischen „sanft“ und „furchteinflößend“ wählen.)*

*Derart eingestimmt komme ich bei Florian Binder am Max-Planck-Institut an. Doch er lacht und sagt: „Keine Sorge, Schockmomente müssen Sie in unserer virtuellen Welt nicht befürchten.“ Er setzt mir die Virtual-Reality-Brille auf, und es kann losgehen: Ich stehe in einem gekachelten Raum. In der Wand gegenüber fährt ein Sichtfenster herab, mir wird die Spinne präsentiert – weit weg, unter einer Glasglocke. Ich soll angeben, als wie unangenehm ich den Anblick des Tieres empfinde. Danach wird mir eine Schildkröte gezeigt. Das sind die beiden Tiere, die mich die nächste halbe Stunde begleiten. Die Welt um mich herum verändert sich, ich stehe hüfttief im Wasser. Um mich ein Beckenrand aus Holzplanken. Links sitzt die Spinne, rechts die Schildkröte. Ich soll nun Fische fangen und in einen Eimer werfen. Wie nah an der Spinne fische ich und wie nah an der Schildkröte? Ich fange lieber rechts mit dem Fischen an und behalte dabei die Spinne auf der anderen Seite immer im Blick.*

*Die Umgebung verändert sich wieder. Ich bin in einem großen Büro und soll Bücher von einem Tresen in ein Bücherregal einsortieren. Dabei muss ich einen Tisch passieren – links davon sitzt die Spinne, rechts die Schildkröte. Ich gehe lieber rechts herum. Doch beim nächsten Buch haben Spinne und Schildkröte die Plätze getauscht. Obwohl der Weg an der Schildkröte vorbei länger ist, wähle ich nun die linke Route. Ich bin wieder im ersten Raum. Vor mir auf einem kleinen Tisch: die Spinne. Nach einem Countdown soll ich hinübergehen – und sie berühren. Ich gehe los. Die Spinne ist schwarz und behaart und krabbelt ein bisschen herum. Ich strecke meine echte Hand aus. Durch die Brille beobachte ich, wie sich meine virtuelle Hand der Spinne nähert. Zunächst schaffe ich es nicht, mich zu einer Berührung zu überwinden. Die Angst nimmt immer mehr zu. Ich feuere mich innerlich an, lache über mich selbst. Als es mir schließlich gelingt, zieht sich das Tier erschrocken zurück. Geschafft! Meine Erleichterung ist groß.*

## PANIK VOR DER SPRITZE

Menschen mit einer Spritzenphobie gehen nicht zum Arzt, damit ihnen kein Blut abgenommen wird, oder sie lassen sich nicht impfen. Dieses Vermeidungsverhalten kann der Gesundheit der Betroffenen massiv schaden und ist möglicherweise ein unterschätzter Grund dafür, warum sich Menschen nicht gegen Corona impfen lassen wollen. Angelika Erhardt und ihr Team am Max-Planck-Institut für Psychiatrie bieten ein Therapieprogramm an. Es soll die Betroffenen in die Lage versetzen, eine Blutabnahme mit einer Spritze auszuhalten. In der

auf sechs Sitzungen angelegten Konfrontationstherapie lernen die Betroffenen zunächst, wie Angst entsteht. Dann bekommen sie Bilder von Spritzen gezeigt und nehmen später eine Spritze in die Hand. Am Ende der Therapie wird den Betroffenen mit einer Spritze Blut abgenommen. Die Patienten müssen sich also mit ihrer Angst auseinandersetzen und ihr Vermeidungsverhalten durchbrechen. Die Therapie ist sehr erfolgreich: Zwei von drei Patientinnen und Patienten fürchten sich danach weniger vor einem Pils.

*Der Ausflug in die virtuelle Welt hat eine gute halbe Stunde gedauert. Florian Binder nimmt mir die Brille ab. Es dauert einen Moment, bis ich mich erinnere, wo ich bin. Anschließend erklärt mir Florian Binder die Daten der übrigen Personen, die an der Studie teilnehmen. Diese Daten stimmen mit meinen eigenen Empfindungen und meinem Verhalten weitgehend überein: Wenn die Testpersonen die Spinne berühren sollen, gehen sie zunächst zügig auf das Tier zu und zögern erst unmittelbar vor der Spinne. Und genau wie ich halten die Personen mit Spinnenangst auch in der virtuellen Realität größeren Abstand zu einer Spinne als die Menschen ohne diese Phobie. Außerdem schauen sie öfter zu ihr hin und drehen ihr seltener den Rücken zu. Sie fischen lieber näher bei der Schildkröte als bei der Spinne, nehmen im virtuellen Büro bewusst Umwege in Kauf und brauchen länger, um die Spinne zu berühren. „Eine Probandin hat drei Minuten gebraucht, die Spinne anzufassen. Aber am Ende hat sie es geschafft – wie alle anderen auch“, erzählt Binder.*

## Sieg über die Angst

Am Ende steht die Erleichterung, die Angst besiegt zu haben. Eine wichtige Erfahrung für das Gehirn, lernt es doch so, dass nicht die Vermeidung der Angst, sondern deren Überwindung positive Gefühle auslöst. Im echten Leben gelangen Phobiker jedoch erst gar nicht an diesen Punkt, wenn sie konfrontative Begegnungen stets vermeiden. Die virtuelle Realität ermöglicht den Forschenden also, das Verhalten von Menschen mit einer Angststörung objektiv und unter standardisierten Bedingungen zu erfassen. Als Nächstes will Florian Binder untersuchen, ob ein gefühlter Kontrollverlust

das Verhalten gegenüber der Spinne beeinflusst. Die Vermutung liegt nahe, da Angstpatienten allgemein das Gefühl haben, weniger Kontrolle zu besitzen. Sie glauben also, dass die Ereignisse um sie herum weniger von ihrem eigenen Verhalten abhängen.

Erkenntnisse wie diese könnten auch bei der Behandlung von Phobien genutzt werden. So könnte man den Betroffenen in der virtuellen Welt mehr Kontrolle über das Verhalten der Spinne verleihen und dadurch die spätere Konfrontation in der Realität angenehmer machen – zum Beispiel, indem man in der virtuellen Realität demonstriert, wie sich Spinnen als Reaktion auf den Menschen verhalten. Spoomakers Team will die Software zudem dafür einsetzen, das Vermeidungsverhalten zu verringern. Eine Virtual-Reality-Therapie könnte das Niveau der Angst ermitteln und die Aufgaben entsprechend anpassen. Psychiater und Psychotherapeutinnen könnten Fortschritte direkt messen und die weiteren Therapieschritte danach bestimmen. Darüber hinaus lassen sich die Rahmenbedingungen nach Belieben verändern: Andere Objekte können die Spinne als Angstobjekt ersetzen. Selbst Sozialphobien wie etwa Platzangst könnte man behandeln. Der Patient steht dann zum Beispiel in einer virtuellen U-Bahn, umgeben von Passagieren, deren Anzahl wir je nach Schwere der Phobie erhöhen oder verringern können und deren Blickrichtung variabel ist.

*„Eines Tages könnte es das Virtual-Reality-Set auch für die Eigetherapie zu Hause geben“, erzählt mir Spoomaker. Dann muss kein Arachnophobiker mehr eine echte Spinne anfassen, nur um seine Angst besiegen zu lernen. Und mich wird dann keine Spinne mehr davon abhalten, ins Bett zu gehen.*

🔊 [www.mpg.de/podcasts/emotionen](http://www.mpg.de/podcasts/emotionen)





Unermüdlicher Trainingspartner: Katherine J. Kuchenbecker und ihr Team haben den Industrieroboter Baxter in einen Assistenten umgewandelt, der mit Menschen etwa in einer Rehabilitation Bewegungsspiele machen kann.

# ROBOTER MIT SANFTER HAND

TEXT: ANDREAS KNEBL

FOTO: AXEL GRIESCH

39

Um zukünftig Menschen bei einer Therapie oder im Alltag unterstützen zu können, müssen Maschinen fähig sein, ihr Gegenüber zu ertasten und behutsam anzufassen. Die dafür notwendige Technik entwickeln Katherine J. Kuchenbecker und ihr Team am Max-Planck-Institut für Intelligente Systeme in Stuttgart. Die Forschenden testen bereits auch feinfühlige Roboter für erste Anwendungen.

Warm und geborgen. Und sicher. So sollte man sich in einer Umarmung fühlen. Und so fühlt es sich auch an, wenn sich die kräftigen Arme von HuggieBot schließen und man an seine warme, breite Brust gedrückt wird. Der Vorzeigeroboter der Abteilung Haptische Intelligenz des Max-Planck-Instituts für Intelligente Systeme in Stuttgart umarmt sein menschliches Gegenüber routiniert. Doch bis HuggieBot ein guter Partner für Umarmungen wurde, war es ein weiter Weg für Katherine J. Kuchenbecker und ihr Team. Denn Maschinen das Fühlen beizubringen, also den Tastsinn in Technik zu übersetzen, ist anspruchsvoll und das Forschungsfeld noch jung. Kuchenbeckers Ziel ist es, haptische Interaktionen zu verstehen und dadurch das Zusammenspiel zwischen Menschen, Maschinen und physischen Objekten zu verbessern. Mit haptischen Interaktionen sind dabei Kontakte mit Robotern gemeint, bei denen es um die tastende Wahrnehmung geht. „Letztlich will ich interaktive Robotersysteme erschaffen, die Menschen wirklich helfen können“, sagt Kuchenbecker. Ihr Augenmerk liegt dabei besonders auf haptischen Anwendungen für Roboter, die Menschen bei einer Therapie oder im Alltag unterstützen.

## Dosierte Umarmungen

- 40 Für die Forschenden ist HuggieBot bestens geeignet, solche tastenden Mensch-Roboter-Interaktionen zu studieren. Denn am Beispiel der Umarmung können die Forschenden erproben, welche Bedingungen ein Roboter erfüllen muss, damit Menschen mit ihm gerne körperlich interagieren. Während Pflegeroboter oftmals komplexere und intimere Berührungen ausführen müssten, sind die Umarmungen von HuggieBot relativ einfach und unverfänglich. Trotzdem verlangen sie viel Gefühl. Da Umarmungen für die meisten Menschen angenehm sind, ist es zudem leicht, Studienteilnehmende zu gewinnen, die den Roboter testen. Ziel von Alexis E. Block, der leitenden Wissenschaftlerin des Projekts, und Kuchenbecker ist es, dass HuggieBots Umarmungen genauso beruhigen, trösten und Geborgenheit geben wie die Umarmung eines Menschen. Haptisch intelligente Roboter könnten in Zukunft dann auch die Lücke schließen, die zwischen virtueller und physischer Welt klafft. Denn im virtuellen Raum findet ein zunehmender Teil sozialer Begegnungen statt. Roboter mit Tastsinn könnten es Menschen, die eigentlich weit voneinander entfernt sind, erlauben, Berührungen auszutauschen.

Um HuggieBot zu entwickeln, untersuchten Kuchenbecker und Block zunächst, welche physischen Eigenschaften ein Roboter mitbringen sollte, damit Menschen seine Umarmungen als natürlich und angenehm empfinden: Es zeigte sich, dass er weich, warm und ungefähr so groß wie ein Mensch sein sollte. Außerdem sollte er Menschen, die mit ihm interagieren, vi-

suell wahrnehmen und seine Umarmung an die Größe und Körperhaltung der Person anpassen. Schließlich muss der Roboter erkennen, wann er die Umarmung beenden soll. Inzwischen haben die Forschenden verschiedene Versionen von HuggieBot entwickelt. HuggieBot 2.0 etwa konstruierten sie völlig neu, nachdem sie zunächst mit einem leicht abgewandelten und umprogrammierten kommerziellen Roboter gearbeitet hatten. HuggieBot 2.0 besteht aus einem zentralen Gestell, einem Oberkörper, der wie ein Wasserball aufgeblasen wird, zwei Industrieroboterarmen und einem Bildschirm als Kopf und ist in ein graues Sweatshirt sowie einen langen lila Rock gekleidet. Erkennt er mithilfe der Kamera, die sich oberhalb des Bildschirms befindet, eine Person in seinem Umfeld, fragt er: „Can I have a hug, please?“, also etwa: „Kannst du mich bitte umarmen?“ Auf dem Bildschirm erscheint dabei ein freundliches Gesicht. Falls sich die Person daraufhin nähert, stellt sich HuggieBot auf eine Umarmung ein und taxiert die Größe der Person. Sobald die Person in Reichweite ist, schließt er die Arme und drückt die Person an seine Brust. Diese fühlt sich weich und warm an, weil sie luftgepolstert und beheizt ist. Sensoren und eine Steuerung der Arme sorgen dafür, dass

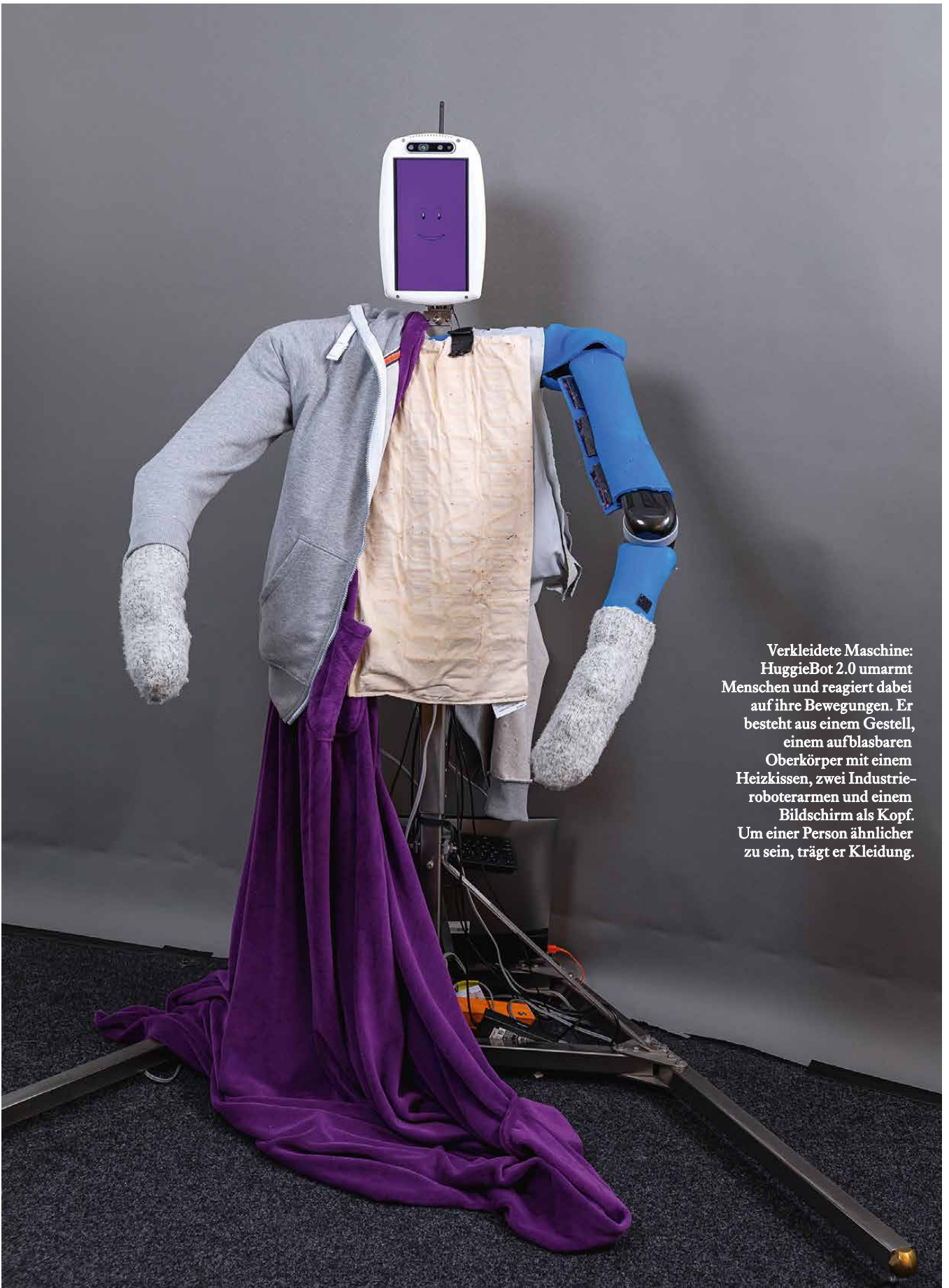
**„Ich möchte interaktive Roboter erschaffen, die Menschen wirklich helfen.“**

KATHERINE J. KUCHENBECKER

der Druck, mit dem HuggieBot die Person in seine Arme schließt, einer herzlichen Umarmung entspricht. Erwidert die Person die Umarmung, nimmt HuggieBot dies durch einen Drucksensor wahr, der im hinteren Teil seines luftgefüllten Oberkörpers liegt. Wenn die Person den Druck löst oder sich leicht gegen die Arme von HuggieBot lehnt, um die Umarmung zu beenden, öffnet der Roboter seine Arme. So kommt es nicht zum unangenehmen Gefühl einer ungewollt langen Umarmung, und die Interaktion mit dem Roboter wird als sicher empfunden. Wie gut die haptischen Elemente und die Steuerung von HuggieBot arbeiten, zeigte sich in Studien mit Probanden. In einer Untersuchung tauschten die Teilnehmenden jeweils acht







Verkleidete Maschine: HuggieBot 2.0 umarmt Menschen und reagiert dabei auf ihre Bewegungen. Er besteht aus einem Gestell, einem aufblasbaren Oberkörper mit einem Heizkissen, zwei Industrieroboterarmen und einem Bildschirm als Kopf. Um einer Person ähnlicher zu sein, trägt er Kleidung.



FOTO: ALEXIS BLOCK

Fühlt sich gut an: Dank seines luftgefüllten und beheizten Oberkörpers ist HuggieBot weich und warm. Das gefällt auch Alexis Block, die an der Entwicklung des Roboters maßgeblich beteiligt ist.

Umarmungen mit dem Roboter aus, bei denen die Forschenden unterschiedliche Funktionen an- oder ausschalteten. Die Ergebnisse der anschließenden Befragungen zeigten klar, dass die haptische Wahrnehmung eine große Rolle spielt: Wenn der Roboter sich an ihre

Größe anpasst und die Umarmung reaktiv beendet, empfinden die Probanden das als angenehm und bewerten die Interaktion positiv.

## AUF DEN PUNKT GEBRACHT

Forschende des Max-Planck-Instituts für Intelligente Systeme untersuchen, welche Anforderungen Roboter erfüllen müssen, damit Menschen ihre Berührungen etwa bei therapeutischen oder sozialen Interaktionen als angenehm und hilfreich empfinden. Dafür nutzt das Team unter anderem HuggieBot, einen Roboter, der Menschen umarmt.

Auf der Basis entsprechender Studien entwickeln und optimieren Forschende neben HuggieBot weitere technische Systeme mit einem Tastsinn: So können Kinder mit Autismus durch die Hilfe von Hera lernen, Menschen angemessen zu berühren. Max kann das Training von älteren Personen oder Patienten in Rehabilitation unterstützen.

Der Einsatz von Robotern für therapeutische oder soziale Aufgaben wirft ethische und datenschutzrechtliche Fragen auf. Für welche Zwecke sie letztlich eingesetzt werden, kann also nicht von der Wissenschaft entschieden werden.

Neben HuggieBot arbeitet das Team um Kuchenbecker an zahlreichen weiteren Projekten, bei denen der Tastsinn gefragt ist. So forschen ihre Mitarbeitenden beispielsweise an technischen Möglichkeiten, Berührungen wahrzunehmen und zu übertragen, an einem ferngesteuerten Montageroboter sowie an einer Roboterhand, die Gegenstände greift und anhand der ertasteten Eigenschaften klassifiziert. Außerdem entwickelt das Team weitere Maschinen, die auf kommerziellen Plattformen basieren, zusätzlich aber haptische Fähigkeiten besitzen, um damit Menschen zu helfen: etwa die Roboter Hera und Max – Hera soll die Behandlung von Kindern mit Autismus unterstützen und Max soll mit älteren Menschen oder mit Patienten in Rehabilitation Sport treiben. Dass die Forschung in Kuchenbeckers Abteilung so breit gefächert ist, liegt auch an den Erfahrungen der Wissenschaftlerin mit Teamleistungen: Seit ihrer Zeit als Volleyballspielerin in der sehr leistungsorientierten Mannschaft der Stanford University hat Kuchenbecker verinnerlicht, dass Erfolg Teamsache ist und von verschiedenen Perspektiven und Fertigkeiten profitiert. Darin liegen sowohl ihr motivierender Führungsstil als auch ihre Bereitschaft begründet, den Forschenden in ihrer Abteilung die Möglichkeit zu geben, eigene Ideen zu verfolgen. Der Erfolg dieses Ansatzes lässt sich auch daran ermessen, dass viele Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler aus Kuchenbeckers Gruppe anschließend begehrte Stipendien oder akademische Stellen ergattern.

Auch bei der Wahl der Forschungsrichtung spielte Kuchenbeckers Biografie eine Rolle. Als Tochter eines Chirurgen und einer Psychologin entschied sie sich für ein Studium des Maschinenbaus, um Technik und menschliche Fürsorge zusammenzubringen. So befasste sich Kuchenbecker schon in ihrer Doktorarbeit an der Stanford University damit, wie man ferngesteuerte Operationsroboter verbessern könnte, indem man ihre bisher rein visuelle Steuerung

durch haptische Rückmeldungen ergänzt. Daraus ergab sich eine viel allgemeinere Fragestellung: Wie können Tastinformationen technisch übersetzt und wiedergegeben werden? Und wie können diese zusätzlichen sensorischen Informationen dabei helfen, das Zusammenspiel zwischen Mensch und Technik zu verbessern?

Bislang herrscht in dieser Hinsicht ein starkes Ungleichgewicht. Während audiovisuelle Informationen seit langer Zeit und mit immer größerer Finesse aufgezeichnet und wiedergegeben werden können, fehlt vergleichbare Technik für den Tastsinn. Für haptische Eindrücke gab es lange Zeit weder ein Äquivalent zu Kamera oder Mikrophon noch zu Bildschirm oder Lautsprecher. Daher erlauben es uns Computer und auch Smartphones mit Touchbildschirm bislang nicht, digitale Gegenstände physisch zu ertasten. Ebenso sind die meisten Maschinen und somit auch Roboter unbeholfen, wenn sie Gegenstände oder Menschen berühren sollen. Denn außer Kameras und einfachen Kraftsensoren steht den Robotern noch keine kommerzielle Technik zur Verfügung, um Informationen über ihre physischen Interaktionen zu sammeln. Daher fällt es ihnen schwer festzustellen, ob ein Objekt beispielsweise hart und glatt oder weich und rau ist. Genauso wenig kann ein herkömmlicher Roboter fühlen, ob und vor allem wie ihn ein Mensch berührt. Doch genau diese physische Interaktion zwischen Mensch und Roboter ist für viele Anwendungen entscheidend.

43

## Unterstützung bei Therapien

Das Projekt Hera führt daher mehrere Forschungsstränge der Abteilung Haptische Intelligenz zusammen. Hera steht für „Haptic Empathetic Robot Animal“ (deutsch: haptisches empathisches Robotertier); Rachael Beville Burns, die das Projekt als Doktorandin leitet, entwickelt den Roboter, um bei der Erziehung von Kindern mit Autismus zu helfen. Diese haben oft Probleme mit sozialen Berührungen. Solche Berührungen dienen üblicherweise dazu, Aufmerksamkeit einzufordern, ein Bedürfnis zu kommunizieren oder ein Gefühl auszudrücken. Doch viele Kinder mit Autismus lehnen Berührungen entweder ab oder suchen – am anderen Ende des Spektrums – zwar zwischenmenschliche Berührungen, haben aber kein Gefühl dafür, welche Berührung angemessen ist. So kann es passieren, dass sie eine andere Person zu kräftig, zu häufig oder an den falschen Stellen anfassen. Aktuell erlernen Kinder mit Autismus den sicheren Umgang mit Berührungen meist von einem Ergotherapeuten. Burns und Kuchenbecker möchten die bisherigen Möglichkeiten für Therapie und Betreuung mit haptisch intelligenten Robotern wie Hera erweitern. Welchen Beitrag diese leisten können und welche Eigenschaften sie dazu mitbringen sollten, hat das Team durch die Befragung zahlreicher erfahrener Therapeutinnen und Betreuer untersucht.



Anhand der Umfrageergebnisse entwickeln sie nun Hera, basierend auf dem kleinen humanoiden Roboter Nao. Für den Einsatz als Therapiehilfe stecken die Max-Planck-Forscherinnen Hera in ein Koalakostüm. Unter der plüschigen Hülle soll der Roboter am ganzen Körper Berührungssensoren tragen, um die körperliche Interaktion zwischen Kind und Roboter aufzuzeichnen. Wie von den Therapeuten bestätigt, erfordert diese Anwendung Sensoren, die weich sind und sowohl leichte als auch feste Berührungen detektieren. Und das auf all den gekrümmten Oberflächen des Roboters. Da solche Sensoren kommerziell nicht erhältlich sind, entwickelt Kuchenbeckers Team selbst textile Sensormodule mit den entsprechenden Merkmalen. Ein einzelnes Modul besteht dabei aus mehreren Schichten Stoff mit hoher und niedriger elektrischer Leitfähigkeit. Wird das Sensormodul berührt, werden die Schichten zusammengedrückt, und der elektrische Widerstand zwischen den beiden äußeren Schichten sinkt. Abhängig davon, wie stark, wie oft und mit welcher Frequenz der Widerstand sinkt, klassifiziert ein Algorithmus die Berührungen etwa als Stupsen, Kitzeln, Schlagen oder Drücken. „Während bei kommerziellen Robotern oftmals nur in den Handgelenken Kraftsensoren verbaut sind, wird Hera durch unsere

Flauschiger Assistent: Auf Basis des kommerziellen Roboters Nao entwickeln Rachael Burns und Katherine Kuchenbecker den Roboter Hera. Sie statten ihn am ganzen Körper mit Berührungssensoren aus und stecken ihn in ein Koalakostüm. Sie programmieren ihn so, dass Kinder mit Autismus mit seiner Hilfe lernen können, Menschen angemessen zu berühren.



## Die Roboter aus Kuchenbeckers Labor sind Beispiele für die Fortschritte der Haptik

textilen Sensoren am ganzen Körper Berührungen spüren und darauf reagieren können“, sagt Kuchenbecker. So kann Hera feststellen, ob die sozialen Berührungen des Kindes angemessen sind oder ob das Kind beispielsweise zu fest zupackt oder den Roboter an einer Stelle berührt, die die meisten Menschen als unpassend empfinden, etwa im Gesicht. Auf solche Übergriffe wird der Roboter so abwehrend oder missbilligend reagieren wie ein Mensch oder auch ein Tier, aber auch anerkennen, wenn das Kind lernt, ihn angemessener zu berühren. Burns und Kuchenbecker stellen sich vor, dass eine Therapeutin, ein Therapeut Kindern mit einem Roboter wie Hera ein sicheres Gefühl vermitteln könnte, wie man andere berührt.

Als Trainingshilfe könnte auch ein weiteres interaktives Robotersystem dienen – diesmal für ältere Menschen oder für Patienten in der Rehabilitation, etwa nach einer

Operation oder einem Schlaganfall. Max, der „Motivational Assistive eXercise Coach“, kann mit seinem menschlichen Partner leichte Bewegungsspiele machen, ohne müde zu werden. Er basiert auf Baxter, einem Roboter, der einem menschlichen Oberkörper nachempfunden ist und eigentlich für die industrielle Fertigung entwickelt wurde. Bei einem Spiel mit Max muss man die Hände des Roboters wiederholt abklatschen, um ihn aufzuwecken. Bei anderen Spielen sollen sich die Partner des Roboters ein langes Abklatschmuster merken, die Arme weit ausstrecken oder yogaähnliche Posen einnehmen, die Max vorführt. Im Gegensatz zu HugieBot und Hera verfügt Max über keine spezielle Hardware, sodass seine haptische Wahrnehmung auf die Beschleunigungssensoren beschränkt ist, die in seinen beiden Greifern eingebaut sind. Kuchenbeckers frühere Doktorandin Naomi Fitter hatte die Idee, diese Greifer mit weichen Schlagpolstern zu bedecken und den Roboter so zu programmieren, dass er sehr empfindlich auf die Kontakte reagiert, die bei Klatschspielen auftreten. Schon diese einfache Form des Tastsinns beeindruckte die jüngeren und älteren Erwachsenen, die Max im Rahmen einer Laborstudie testeten. Sie

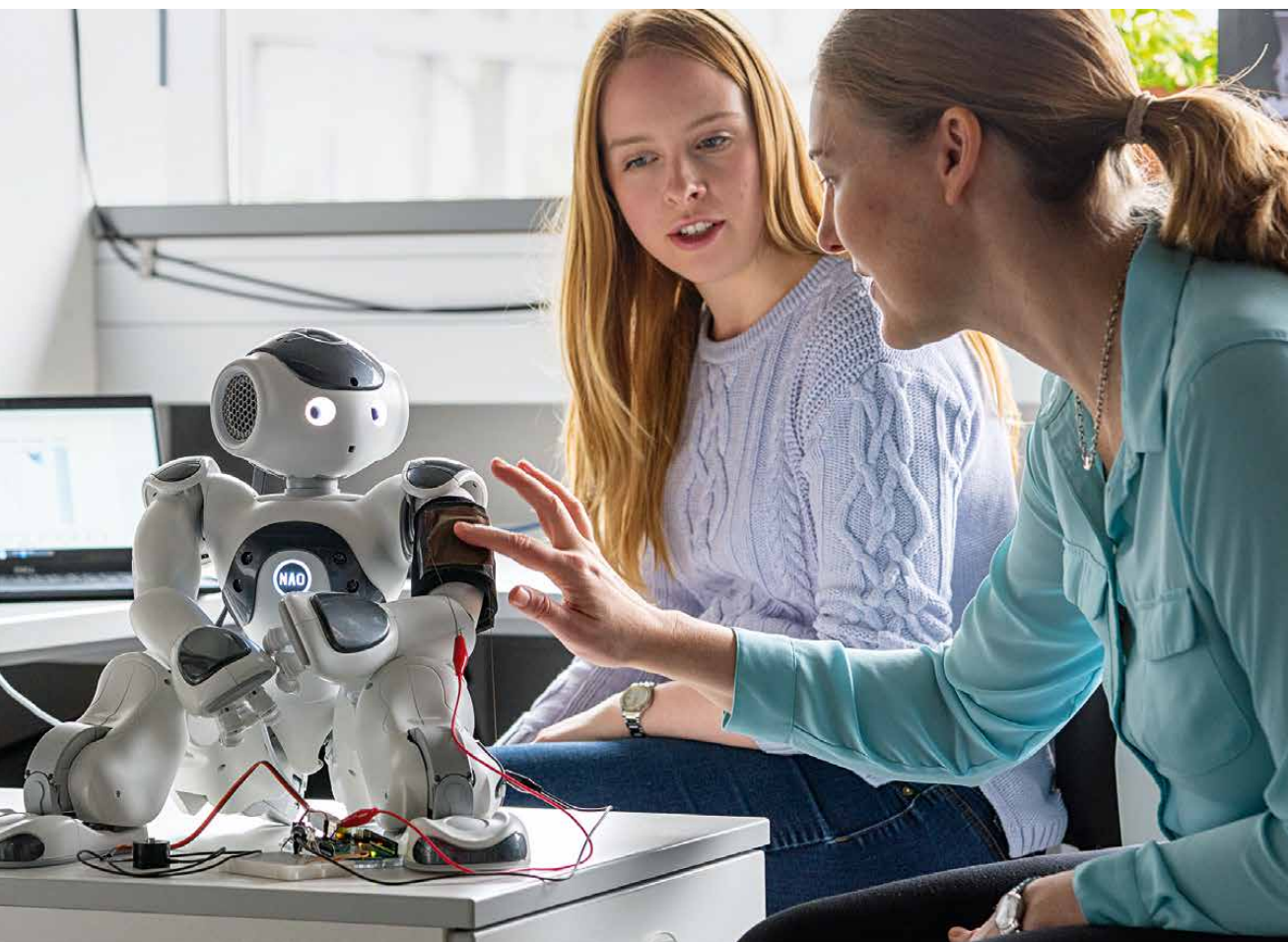


FOTO: WOLFRAM SCHEIBLE

sollten unter anderem die Spiele bewerten, in denen sie den Roboter berührten und in denen sie nur auf Abstand mit ihm trainierten. Dabei stellte sich heraus, dass die Teilnehmenden die Spiele mit Berührungen wesentlich unterhaltsamer fanden.

Die Roboter mit Tastsinn aus Kuchenbeckers Labor sind Beispiele dafür, welche Fortschritte die Haptik inzwischen gemacht hat und welche Möglichkeiten diese Technik für die Interaktion zwischen Menschen und Maschinen bietet. Wenn es um die Digitalisierung sozialer und gesundheitsbezogener Leistungen geht, stellen sich neben Fragen der technischen Machbarkeit jedoch auch Fragen des Datenschutzes und der Ethik. Hera etwa könnte als Begleiter für Kinder mit Autismus unzählige Daten über das Verhalten der menschlichen Partner sammeln. Für wen sollen diese Daten zugänglich sein? Für die Eltern, das medizinische Personal, die Krankenkasse? Und wird das Kind darüber aufgeklärt, dass sein neuer Freund all diese Daten weitergibt? Ähnliche Fragen stellen sich auch bei Robotern in der Pflege. Der deutsche Ethikrat positioniert sich hier klar und empfiehlt, dass der Einsatz von Ro-

botik an den Zielen guter Pflege und Assistenz auszurichten ist. Dabei sei die Individualität der zu betreuenden Person zu respektieren und etwa besonders auf Selbstbestimmung und Privatheit zu achten. Außerdem sei es wichtig, dass der Roboter keine menschliche Pflege ersetzt und somit weder soziale Kontakte noch menschliche Interaktionen reduziert. Vielmehr sollte der Roboter nur als Ergänzung und gewinnbringend sowohl für Pflegenden als auch für Gepflegte eingesetzt werden. Bei all diesen Überlegungen ist es zudem wichtig, die Kosten zu berücksichtigen und Alternativen abzuwägen. Denn Roboter, die mit Menschen feinfühlig umgehen, werden zumindest anfangs teuer sein und nur stark begrenzte Aufgaben übernehmen. Für Kuchenbecker ist trotzdem klar, dass derartige Systeme Menschen künftig helfen könnten. Denn Roboter sind Teil unserer physischen Welt und können in vertrauter Art und Weise mit uns interagieren. Durch ihre Forschung verschiebt Katherine J. Kuchenbecker aktuell die Grenze des Machbaren, indem sie haptisch immer intelligentere Systeme entwickelt. Alles Weitere müssen wir als Gesellschaft aushandeln.

🎧 [www.mpg.de/podcasts/emotionen](http://www.mpg.de/podcasts/emotionen)



Mehr Möglichkeiten in der Forschung und größere Freiheiten im Alltag lockten die Physikerin Hanieh Fattahi aus Iran nach Deutschland. Hier angekommen, musste sie zunächst einmal mit den Kulturunterschieden klarkommen. Doch inzwischen hat sie am Max-Planck-Institut für die Physik des Lichts in Erlangen ihre eigene Forschungsgruppe aufgebaut, die mit extrem kurzen Laserpulsen die Übertragung von Nervensignalen untersucht. Und mit ihrem Talent, Menschen zu motivieren, engagiert sich Hanieh Fattahi auch für den Klimaschutz.

46

TEXT: KLAUS JACOB

Vor dreizehn Jahren, nach ihrem Masterabschluss, kam Hanieh Fattahi nach Deutschland – aus Iran. Um einen Eindruck zu geben, wie ihr Studienalltag dort aussah, greift sie zu einem Schal. Der ist zwar kein Kopftuch, aber er tut es. Mit geübtem Griff schlingt sie den Stoff um den Kopf. Das Gesicht durfte frei bleiben, aber kein Haar heraus schauen. Das kontrollierten jeweils Sittenwächter am Eingang der Universität. Eine andere Einschränkung, die ihr Studium erschwerte, ist für Deutsche noch unverständlicher: Fattahi durfte nicht mit dem Fahrrad fahren, sie konnte ihren männlichen Kommilitonen nur neidisch nachschauen. Als sie einmal doch mit dem Rad kam, fuhren ihr die Wächter im Auto nach und zwangen sie abzusteigen.

Fattahi erzählt solche Erlebnisse nicht anklagend, sondern als interessante Anekdoten, in einer selbstbewussten und humorvollen Art. In Deutschland hat sie Karriere in einem Fach gemacht, in dem hierzulande immer noch nicht viele Frauen anzutreffen sind: Physik. Und sie ist mit großer Begeisterung bei der Sache – was sie wichtig findet. Wichtig ist ihr auch, ihr Fachgebiet so zu erklären, dass es jeder versteht. Das ist im deutschen Wissenschaftsbetrieb keineswegs eine Selbstver-

ständlichkeit. Seit zwei Jahren arbeitet Hanieh Fattahi nun als Forschungsgruppenleiterin am Max-Planck-Institut für die Physik des Lichts in Erlangen, hantiert mit Femtosekundenlasern und hält Vorlesungen an der Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg.

Das Faible für Physik verdankt sie nicht zuletzt einer Lehrerin an der Highschool. Diese Frau konnte nicht nur den Lehrstoff anschaulich und voller Begeisterung vermitteln, sie war auch als Mensch ein Vorbild. Dabei spielte die Mode eine wichtige Rolle. Während die Schülerinnen in einer dunkelblauen, fast schwarzen Uniform antreten mussten, trug die Lehrerin stets farbige Kleidung. Die Kleidung hat in Iran größere Bedeutung als in Deutschland, weil sich dahinter auch eine Kritik am System verbergen kann.

Dass Hanieh Fattahi nach der Schule ein Studium begann, verdankt sie in gewisser Weise ihren Eltern, die diese Ausbildung förderten und finanzieren konnten. Auch ihre beiden Geschwister haben studiert – der ältere Bruder Ökonomie und Management, ihre jüngere Schwester Genetik. Die beiden leben noch in Iran. Mit Physik hat sich Fattahi allerdings ein Fach gewählt, mit dem man in Iran kaum Karriere machen kann, viele finden nach dem Abschluss nicht einmal eine Anstellung. Möglicherweise wird das Fach deshalb von Männern nicht sehr geschätzt, die unter den Studierenden keineswegs in der Überzahl sind wie in Deutschland. Zudem fehlt es dem Land schlicht an Geld, um moderne Geräte für die Forschung zu beschaffen. Die Sanktionen, von den USA verhängt, machen die Situation nicht leichter. Für Experimentalphysikerinnen und -physiker endet die akademische Laufbahn meist nach dem Master, denn eine Doktorarbeit in diesem Fachgebiet ist ohne teures Equipment kaum möglich. Das war

—>

# BESUCH BEI

---

HANIEH FATTAHI



FOTO: AXEL GRIESCH

47

Geschärfter Blick: Hanieh Fattahi und ihr Team wollen Lichtmikroskope entwickeln, die auch Proben ohne fluoreszierende Marker in hoher Auflösung abbilden, und damit die Vorgänge in Nervenzellen beobachten.

auch der Grund, warum Hanieh Fattahi 2008 nach Deutschland ging.

In ihrer Masterarbeit untersuchte sie die Wirkung von Laserstrahlung auf Kollagenbündel der Haut. Die Arbeit mit dem Laser stand schon damals im Mittelpunkt ihres Interesses, und so ist es bis heute geblieben. Der Wechsel nach Deutschland war ein Sprung ins kalte Wasser, denn Fattahi konnte zunächst kein Deutsch. Die Sprache war für sie besonders schwer zu erlernen, weil es keine Parallelen zu ihrer Muttersprache Farsi gibt. Sie kam trotzdem zurecht, zum einen weil am Max-Planck-Institut für Quantenoptik in München, wo sie forschte, Englisch die Umgangssprache ist. Zum anderen ist ihr Ehemann, den sie in Iran an

te Teil einer milliardstel Sekunde. Die Dimension lässt sich mit einer Analogie verständlich machen: Entspräche eine Sekunde dem Weg von der Erde zur Sonne, wäre eine Femtosekunde etwa 0,15 Millimeter lang. Dieser Laser war letztlich Fattahis Fahrkarte in die akademische Karriere. Mit dem Dokortitel ausgestattet, wurde sie in das Minerva-Fast-Track-Programm aufgenommen, ein Stipendium der Max-Planck-Gesellschaft, das Auslandsaufenthalte ermöglicht und den Weg in eine eigene Forschungsgruppe ebnen soll. Fattahi wollte damit zunächst in die USA, um an der Harvard University ihre Studien fortzusetzen. Doch das war nicht so einfach. Die Politik hat ihr übel mitgespielt: „Donald Trump hatte großen Einfluss auf mein Leben“, sagt sie amüsiert.

## Fattahi entwickelt einen Fotoapparat, mit dem sie Moleküle in Aktion aufnehmen kann. Sie nimmt damit vor allem biologische Prozesse ins Visier

48

der Universität kennengelernt hatte, mit nach Deutschland gekommen, und mit ihm konnte sie sich immer in der Muttersprache besprechen. Nach und nach lernte sie natürlich auch Deutsch, schon um Einkäufe erledigen zu können. Allerdings verständigt sie sich noch immer lieber auf Englisch.

Auch die fremde Kultur machte ihr zu schaffen. In Iran wird eine sehr komplizierte Kunst der Etikette gepflegt, *taarof* genannt. Diese führt dazu, dass niemand rundheraus sagen darf, was er oder sie wirklich will. So muss ein Gast stets Nein sagen, wenn er gefragt wird, ob er noch einen Nachschlag möchte, selbst wenn ihn der Hunger plagt. Der Gastgeber versteht das durchaus richtig und wertet das Nein als Ja. Fattahi erklärt mit einer Anekdote, wie schwierig für sie die Umstellung in Deutschland war: „Wir besuchten die Eltern eines Freundes, und die Mutter fragte, ob ich noch Tee wolle. Ich schaute meinen Mann hilflos an, weil ich einfach nicht wusste, was ich antworten sollte.“ Ihre Doktorarbeit schrieb sie in München zum Thema „Femtosekundenlaser der dritten Generation“. Diese Laser senden ultrakurze Lichtpulse, die nur  $10^{-15}$  Sekunden dauern, das ist der millions-

Denn genau zu jenem Zeitpunkt kam er an die Macht. Fattahi hatte den US-Aufenthalt schon fest geplant und mit dem zuständigen Professor in den USA alle Details vereinbart, als Trump mit dem „Muslim Ban“ Menschen aus muslimischen Staaten die Einreise verbot. An erster Stelle der sanktionierten Länder stand Iran mit seinem umstrittenen Atomprogramm. Fattahi bekam eine Mail aus den USA, dass ihr Aufenthalt verschoben sei. Anderthalb Jahre musste sie auf ein Visum warten. Sie durfte zwar für Konferenzen ins Land reisen, aber nicht für einen monatelangen Aufenthalt. Dabei hat sie keinen Bezug zur islamischen Religion: „Ich glaube an niemanden.“ Es half auch nicht, dass sie inzwischen die deutsche Staatsbürgerschaft erworben hatte. Tatsächlich fühlt sie sich heute als Teil der hiesigen Gesellschaft, begehrt deutsche Feiertage und jubelt für deutsche Sportteams. Den iranischen Pass besitzt sie aber weiterhin und ist daher in den USA *Persona non grata*. Alternativ ging sie für einen Forschungsaufenthalt nach England, an die University of Oxford. Und als sie dann doch in die USA reisen durfte, blieb sie nur wenige Monate. Denn 2020 bekam sie am Erlanger Max-Planck-Institut für die Physik des Lichts die Möglichkeit, eine eigene Arbeitsgruppe

—&gt;



FOTO: AXEL GRIESCH



49

**Multikulturelles Team:** Die Mitglieder von Hanieh Fattahis Gruppe stammen unter anderem aus China, Südkorea, Iran und Indien. Dank ihres unterschiedlichen kulturellen Hintergrunds gehen sie Forschungsfragen jeweils anders an, was oft zu interessanten Diskussionen führt.

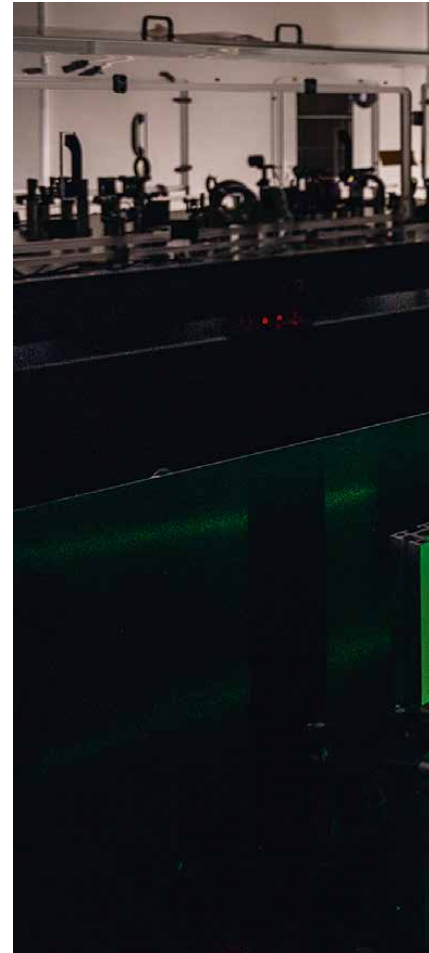
aufzubauen. Das war für sie viel reizvoller. Ihr Vertrag läuft über fünf Jahre und ist mit Forschungsmitteln von zwei Millionen Euro dotiert.

Doch auch in Erlangen lief zunächst längst nicht alles rund: Corona machte ihren Einstand zu einem Hürdenlauf. Kaum war sie dort, zwang der Lockdown das ganze Institut zum Stillstand. „Nichts lief mehr, nicht einmal das Telefon“, erinnert sie sich. Für sie war die erzwungene Ruhe besonders bitter, nicht nur weil sie am Anfang ihrer Arbeit stand. Als Experimentalphysikerin ist sie auf die Laborarbeit angewiesen. Ein weiteres Problem kommt hinzu: Bei der Arbeit mit einem Laser müssen aus Sicherheitsgründen immer zwei Personen anwesend sein. Wie soll das gehen, wenn wegen der Pandemie nur eine Person im Raum sein darf? Doch Fattahi wollte auf keinen Fall die Hände in den Schoß legen. Daher installierte sie kurzerhand eine Kamera, sodass ein Mitarbeiter von außen für den nötigen Schutz sorgen konnte. So waren zumindest die Sicherheitsauflagen erfüllt. Und einen Mitarbeiter hatte sie bereits, das war Glück im Unglück: Schon vor ihrem Einstand hatte sie einen Postdoktoranden angeheuert. Bei einem Vortrag an einer US-amerikanischen Universität hatte sie gefragt, wer sie in Erlangen unterstützen könnte, und Anchit Srivastava hatte sich gemeldet. Sie hatte also einen Arbeitstisch, einen Laser und einen Mitarbeiter. „Es war schwierig“, sagt sie, „aber wir haben geforscht“.

Inzwischen hat sie elf Mitarbeitende – ein bunter Haufen von Studierenden, Doktoranden und Postdoktorandinnen, von Menschen aus China, Südkorea, Iran, Indien. Bei der Auswahl zählte für sie vor allem die Begeisterung für das Fach. Um ihr Verhältnis zu den Mitarbeitenden zu demonstrieren, zeigt sie auf ein Spielzeug-Laserlabor aus Legosteinen, das ihr ein früherer Student geschenkt hat. Dieser Deutsche wollte vor Jahren unbedingt seine Bachelor-Arbeit bei ihr anfertigen, obwohl er Materialkunde studierte. Sie willigte schließlich ein – unter der Bedingung, dass er sich die Grundlagen der Optik selbst beibrachte. Tatsächlich beendete er seinen Bachelor mit Erfolg, arbeitete sogar noch eine Zeit bei ihr und macht jetzt in Bordeaux seinen Master in dem für ihn neuen Fach. „Er wird sicher wiederkommen“, ist Fattahi überzeugt.

Wer ihre Arbeit als Experimentalphysikerin kennenlernen will, sollte sich eine Schutzbrille aufsetzen und sie in ihr Laserlabor begleiten. Der komplizierte Aufbau erinnert entfernt an eine Modell-eisenbahn. Doch statt Züge zwischen Lichtstrahlen über die Platte, und statt Signale gibt es zahlreiche kleine Spiegel und andere optische Instrumente.

Ein neues Instrument für die Klimaforschung: Hanieh Fattahis Gruppe entwickelte einen optischen Oszillator, der aus grünem Laserlicht intensive Femtosekundenpulse von kurzwelligem Infrarotlicht erzeugt. Mit diesen Lichtimpulsen lassen sich Treibhausgase in der Atmosphäre messen.



Was hier erforscht wird, ist nicht zu erkennen. Kein Wunder, denn Fattahi befasst sich mit Strukturen, die für das menschliche Auge unsichtbar sind. Im Grunde entwickelt sie einen Fotoapparat, mit dem sie Moleküle in Aktion aufnehmen kann. Jeder, der fotografiert, weiß, dass sich bewegte Objekte nur schwer auf ein Foto bannen lassen. Die Konturen verschwimmen – es sei denn, man wählt eine sehr kurze Belichtungszeit. Doch ein Molekül bewegt sich sehr viel schneller als ein Vogel im Flug. Hier kommt der Femtosekundenlaser ins Spiel. Seine Lichtblitze sind kurz genug, um bewegte Moleküle scharf abbilden zu können.

Mit ihrem speziellen Lasermikroskop nimmt Hanieh Fattahi derzeit vor allem biologische Prozesse ins Visier. Sie hat nichts Geringeres vor, als das menschliche Denken zu visualisieren – ein sehr ehrgeiziges Ziel. Es geht um Vorgänge in den einzelnen Zellen. Die Nervenzellen, die Neuronen, sind durch unzählige Synapsen miteinander verknüpft. Im Gehirn entsteht so ein gigantisches Netzwerk aus rund

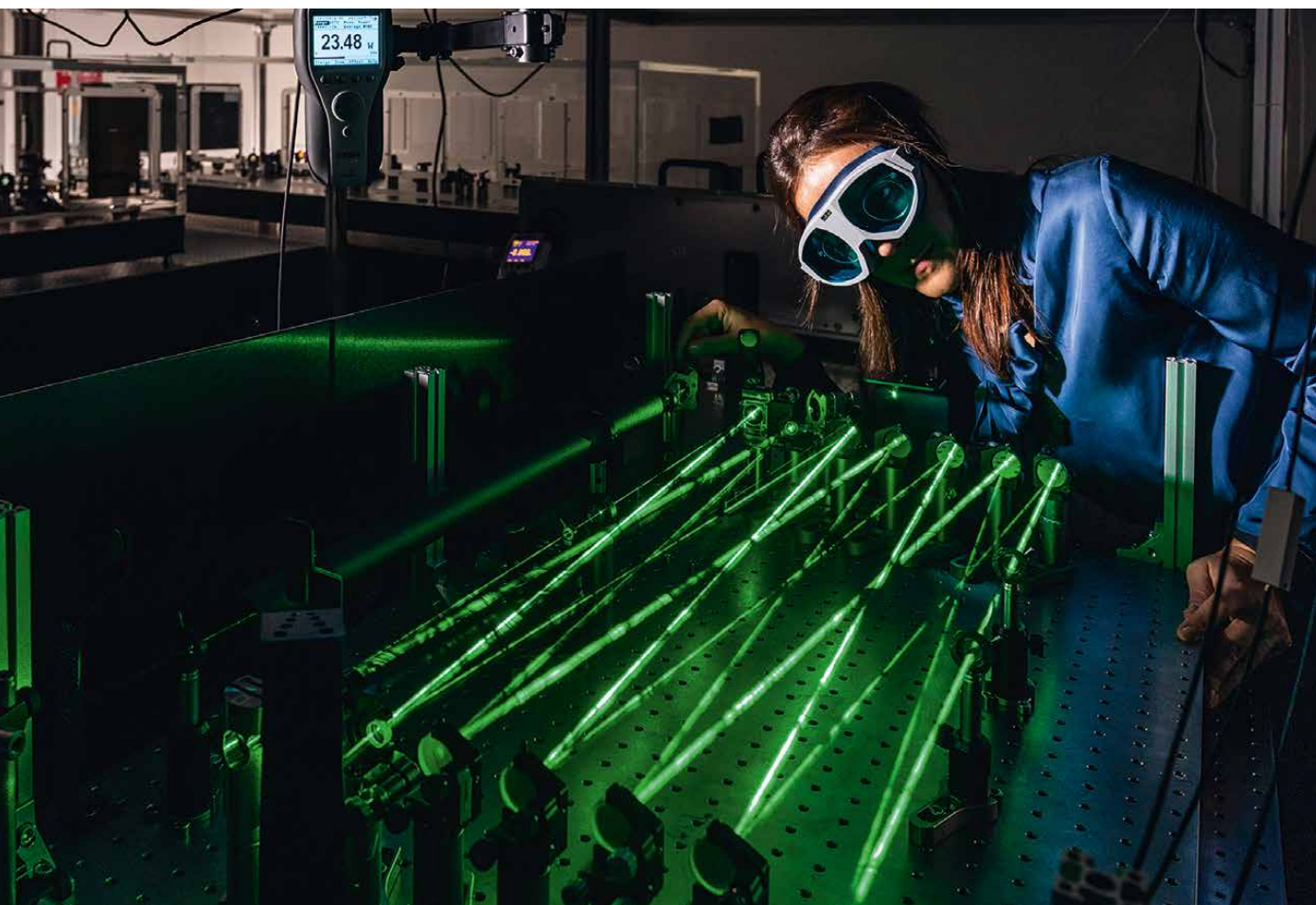


FOTO: AXEL GRIESCH

hundert Milliarden Neuronen und mehr als einer Trillion Synapsen. Die Signale werden elektrisch weitergeleitet – aber nur bis zur Synapse. Hier setzt die Natur auf einen chemischen Prozess: Angeregt durch den elektrischen Impuls werden Botenstoffe, sogenannte Neurotransmitter, ausgeschüttet, die den Spalt zur Nachbarzelle überbrücken und dort wiederum ein elektrisches Signal erzeugen. Auf diese Neurotransmitter hat es Fattahi abgesehen. Mit ihrem Femtosekundenlaser möchte sie beobachten, wie viele dieser Moleküle jeweils für eine korrekte Signalübertragung notwendig sind und wie dieser Vorgang im Detail abläuft. Das zu verstehen, ist vor allem für Ärzte von erheblicher Bedeutung. Denn Fehler bei dem Prozess können zu Krankheiten führen, etwa zu Parkinson. Bevor Fattahi menschliche Nervenzellen unter die Lupe nimmt, will sie mit tierischen Zellen arbeiten. Auch beginnt sie mit einem anderen Synapsentyp: einer Verbindung von einer Nerven- und einer Muskelzelle. Sie hofft, im nächsten Sommer einen ersten Versuch starten zu können.

Um erst einmal ein Gefühl für den Laser zu bekommen, arbeitet sie derzeit auch mit dem Biotechnologen Daniel Wehner aus dem Institut zusammen. Er beschäftigt sich mit Zebrafischen, einem bei Genetikern und Entwicklungsbiologen beliebten Modellorganismus. Auch seinem Team geht es um Nervenzellen: Es untersucht die erstaunliche Fähigkeit der Fische, ein verletztes Rückenmark regenerieren zu können. Verletzungen, die viele Menschen etwa nach Unfällen zeitlebens lähmen, heilen bei Zebrafischen wieder aus. Um besser zu verstehen, wie dem Fisch das gelingt und ob sich daraus möglicherweise auch lernen lässt, wie menschliche Rückenmarksverletzungen geheilt werden könnten, durchtrennen die Forschenden die Nerven der Fische zunächst präzise mit Fattahis Lasertechnik – und beobachten anschließend im Detail, wie sie wieder zusammenwachsen. Dass Fattahi noch ganz am Anfang ihrer Arbeiten steht, wird deutlich, wenn man an einer Sitzung ihrer Arbeitsgruppe teilnimmt. Da werden keine Ergebnisse referiert, sondern Versuchsanordnungen vorgestellt, die



Wissenschaftliche Bastelarbeit: Nicht zuletzt wegen der Beschränkungen durch die Coronapandemie musste Hanieh Fattahi im Labor immer wieder selbst Hand anlegen. So hat sie es letztlich geschafft, die intensiven Laserpulse von nur fünf Femtosekunden Dauer zu erzeugen.



FOTO: AXEL GRIESCH

52

verwirklicht werden sollen. Bei den Sitzungen macht sich noch immer die Coronapandemie bemerkbar: Man darf das Institut nur mit Maske betreten, und im Saal sitzen die Mitarbeitenden weit voneinander entfernt. Sie verlieren sich regelrecht in dem großen Raum. Trotzdem ist das legerere und kameradschaftliche Verhältnis Fattahis zu den Mitarbeitenden spürbar. Nacheinander treten einige von ihnen ans Pult und erläutern, welche Versuche sie mit welchem Ziel planen. Sie erklären außerdem, welche Apparate sie dafür brauchen und wie sie diese besorgen wollen. Auch das Geld spielt eine Rolle, denn Fattahi muss mit ihrem Budget haushalten. Da wird schon einmal diskutiert, ob man ein Bauteil an anderer Stelle nicht doch preiswerter bekommen könnte. Fattahi lässt ihren Mitarbeitenden viel Freiraum, hakt jedoch bei den Versuchsplänen immer wieder nach.

Trotz der Aufbauphase ihrer Gruppe, die Fattahi ziemlich in Anspruch nimmt, hat sie nicht nur den Femtosekundenlaser und die Synapsen im Blick. Sie will sich auch gegen den Klimawandel engagieren, „das gravierendste Problem dieses Jahrhunderts“, wie sie sagt. Vor einem Jahr gründete sie einen Buchclub, den „Greenroom Book Club“, um dieses Thema anzugehen. Sie habe den Eindruck,

sagt sie, dass die Menschen in ihrer Umgebung zu wenig informiert seien, um den Ernst der Lage zu erkennen. Also lud sie alle Bekannten, ob aus der Wissenschaft oder nicht, per Mail zur Teilnahme ein. Seitdem treffen sie sich alle zwei Wochen in einer Internetrunde und diskutieren jeweils über ein Klimabuch, das jeder zuvor gelesen haben sollte. Der Club hat inzwischen eine eigene Homepage und stößt auf reges Interesse. Doch er will mehr sein als ein Debattierverein: Fattahi möchte mit ihrer Initiative Einfluss auf die Gesellschaft nehmen. Alle sollen darüber nachdenken, wie sie ihren Teil beitragen können. Das gilt auch für sie selbst. So hat sie mit ihrem Team ein optisches Instrument entwickelt, mit dem sich die kurzlebigen Treibhausgase wie Methan, Ozon oder Fluorkohlenwasserstoffe detektieren lassen. Sie will dadurch zur Klärung der Frage beitragen, aus welchen Quellen diese Gase in die Atmosphäre gelangen und wie sie sich dort verteilen. Das zu wissen, könnte helfen, die Auswirkung dieser Gase auf das Klima genauer zu bestimmen. Doch nicht nur ihr Talent als Laserphysikerin bringt Hanieh Fattahi für den Klimaschutz ein, sondern auch eine Gabe, die ihr in der schwierigen Coronazeit beim Aufbau ihrer Gruppe geholfen hat: die Fähigkeit, Menschen zu motivieren, auf ein gemeinsames Ziel hinzuarbeiten.



„Dem Anwenden muss das Erkennen vorausgehen.“ Max Planck

# Eine Idee, 86 Institute

Die Max-Planck-Gesellschaft  
betreibt Grundlagenforschung in  
den Natur-, Lebens- und Geistes-  
wissenschaften an 86 Instituten.

## GEISTES-, SOZIAL- UND HUMANWISSENSCHAFTEN

Humanwissenschaften / Kulturwissenschaften / Rechtswissenschaften / Sozialwissenschaften /  
Verhaltenswissenschaften / Wirtschaftswissenschaften / ...

## BIOLOGIE UND MEDIZIN

Entwicklungsbiologie / Evolutionsbiologie / Immunbiologie / Infektionsbiologie / Medizin / Mikrobiologie /  
Neurobiologie / Ökologie / Pflanzenforschung / Psychiatrie / Strukturbiologie / Verhaltensbiologie / Zellbiologie / ...

## CHEMIE, PHYSIK, TECHNIK

Astronomie / Astrophysik / Chemie / Festkörperforschung / Informatik / Klimaforschung / Komplexe Systeme /  
Materialwissenschaften / Mathematik / Nanowissenschaften / Plasmaphysik / Quantenphysik / Teilchenphysik / ...

[www.mpg.de/institute](http://www.mpg.de/institute)

**MAX PLANCK**  
GESELLSCHAFT





AUS: CLARA WEISMAN. A COMPLETE TREATISE ON ARTISTIC RETOUCHING, MODELING, ETCHING, ART AND NATURE, ART AND PHOTOGRAPHY, CHARACTER, CHIAROSCURO, COMPOSITION, STYLE AND INDIVIDUALITY, SAINT LOUIS 1903

# ZWEITER BLICK

KUNSTHISTORISCHES INSTITUT IN FLORENZ  
– MAX-PLANCK-INSTITUT

Umgeben von digitalen Bildern, wissen wir, wie einfach diese zu manipulieren sind. Mit jedem Handy lassen sich Aufnahmen beliebig korrigieren, anpassen oder verfremden. Fotografien zu manipulieren, war jedoch schon Anfang des 20. Jahrhunderts gängige Praxis. Das Bilderpaar stammt aus einem Handbuch für Fotoretuschen aus dem Jahr 1903. Damals waren Radiermesser und Bleistift die Mittel der Wahl, um in Porträtaufnahmen Falten auszugleichen oder verschattete Bereiche aufzuhellen. Geschlossene Augen wurden durch ein gezeichnetes Augenpaar ersetzt. Fotografische Manipulationstechniken waren auch bei der Produktion wissenschaftlicher Bilder relevant. Eine Online-Ausstellung der Photothek des Kunsthistorischen Instituts in Florenz gibt Einblicke.

[http://photothek.khi.fi.it/  
documents/oa/00000311](http://photothek.khi.fi.it/documents/oa/00000311)

55

# FARBEN HÖREN, GENE SUCHEN

TEXT: KLAUS WILHELM

56 Die Synästhesie ist eines der faszinierendsten Phänomene der Psychologie und Neurowissenschaften. Nur sehr langsam lüften sich die damit verbundenen wissenschaftlichen Geheimnisse. Neuen Schwung bekommt die Forschung durch die Studien von Simon Fisher und seinem Team am Max-Planck-Institut für Psycholinguistik im niederländischen Nijmegen.

Selbst außerhalb wissenschaftlicher Maßstäbe ist Synästhesie verblüffend rätselhaft – zumindest für alle, die nicht davon betroffen sind. Stellen Sie sich vor, Sie sehen oder hören einen bestimmten Buchstaben, sagen wir: das F. Und schon leuchtet es rot vor Ihrem inneren Auge. Oder das Z – und schon sehen Sie grün. Stellen Sie sich nun vor, Sie lesen ein Buch. Dann kann es sein, dass Sie gleichzeitig einen kontinuierlichen Film der Farben wahrnehmen. Andere Menschen hören bestimmte Worte – und schon spüren sie einen süßen, sauren oder sonstigen Geschmack im Mund. Und so weiter.

„Synästhesie“ bedeutet wörtlich „Mit-Wahrnehmung“, „gemeinsame Wahrnehmung“. Sie ist ein neuropsychologisches Phänomen, wobei die Wahrnehmung eines Sinnes einen anderen mit anregt – und „keine Störung oder gar Krankheit“, wie Simon Fisher, Direktor am Max-Planck-Institut für Psycholinguistik, betont. Geschätzte sechzig bis achtzig Formen von Synästhesie soll es geben. Alltag für rund vier Prozent der Menschen. Etwa für Lara Grabitz. Die Physikstudentin sieht bei ihrer Graphem-Farb-Synästhesie die Buchstaben oder Zahlen eines Textes direkt auf dem Papier oder auf dem Bildschirm farbig. Wenn sie auf ihrem Cello spielt, hört sie die Töne als Zahlen. Vernimmt sie eine Jahreszahl, sieht sie eine Art Zeitstrahl vor sich, auf dem die Jahre angeordnet sind. „Für mich fühlt sich diese Welt normal an“, sagt die junge Frau. „Ich kenne das ja nicht anders – mich würde es eher beängstigen, wenn das plötzlich weg wäre.“

Simon Fisher gehört zu den 96 Prozent der Bevölkerung, die Synästhesie nicht aus eigener Erfahrung kennen. Er ist Neurowissenschaftler und Genetiker, „ein interdisziplinär denken-

der Wissenschaftler“, wie er sagt. Ihn interessiert es, „auf die DNA von Genen zu schauen und zu verstehen, was Gene biologisch für das Verhalten oder die Sprache oder sonstige Merkmale bedeuten“. Zuerst entdeckte sein Team Gene, die bestimmte Sprachstörungen beeinflussen. Irgendwann in seiner Karriere traf er auf seinen Kollegen Simon Baron-Cohen, Professor für Entwicklungspsychopathologie an der Cambridge University, der zu den sogenannten Autismus-Spektrum-Störungen und zu Synästhesie forscht. „Ich wusste damals nicht viel darüber“, sagt Fisher, „fand das Thema aber unheimlich spannend.“ Über den genetischen Hintergrund der Synästhesie war damals so gut wie nichts bekannt.

Als Fisher dann den Posten als Direktor am Max-Planck-Institut für Psycholinguistik antrat, eroberten neue Verfahren die Forschung, die die schnelle Analyse ganzer Genome durch Hochleistungsmaschinen ermöglichen – von Tausenden Menschen gleichzeitig. Immer präziser, immer günstiger, immer raffinierter, ein riesiger Fortschritt. Doch „trotz aller Technologie ist die Analyse dieser DNA-Rohdaten





# WISSEN AUS

— BIOLOGIE & MEDIZIN

Malerei für die Ohren: Der Künstler Wassily Kandinsky gehört zu den bekanntesten Synästheten. Dieses Bild mit dem Titel *Drei Klänge* aus dem Jahr 1926 verkörpert seine Idee, wonach Farben und Formen Musik vermitteln können – und umgekehrt.



BILD: WASSILY KANDINSKY / HERITAGE IMAGES / FINE ART IMAGES / AKG-IMAGES

58

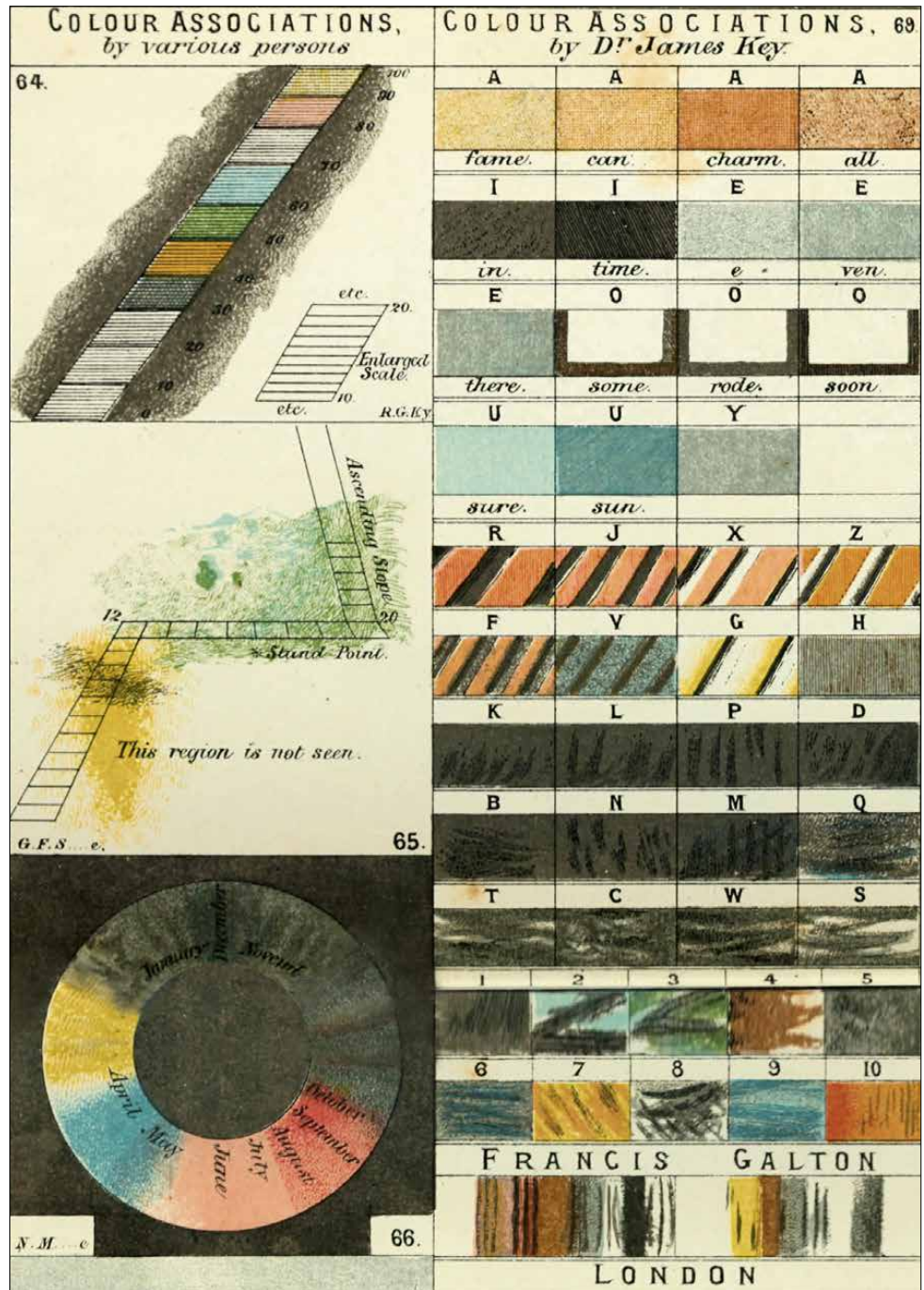
und wie stark die Gene letztlich ein Merkmal beeinflussen, noch immer eine intellektuelle Herausforderung“, erklärt Fisher. Denn die Gene mögen zwar die Anleitung geben für Aufbau und Verhalten des menschlichen Gehirns, aber herauszufinden, in welcher Weise diese Anleitung umgesetzt wird – das ist die hohe Kunst der DNA-Analyse.“ Und die Arbeit der Bioinformatik. Die Fachleute untersuchen, ob gewisse Merkmale gleichzeitig mit Varianten bestimmter DNA-Sequenzen oder Gene auftreten. „Das braucht Geschick, Können, eine Menge Glück – und vor allem viele DNA-Proben von Menschen mit Synästhesie“, sagt der Forscher. Denn nur selten übt ein einziges Gen einen großen Effekt auf komplexe Merkmale wie die Synästhesie aus. Meist sind es viele Gensequenzen, die zusammen ein Merkmal wahrscheinlicher machen.

In diesem Sinne haben die Forschenden bereits viele Jahre damit verbracht, Menschen mit Synästhesien für ihre Studien zu suchen. Sie arbeiten dabei an zwei unterschiedlichen Forschungslinien: Zum einen braucht das Team aus der Allgemeinbevölkerung so viele nicht verwandte Testpersonen mit Graphem-Farb-Synästhesie wie möglich. In deren Erbgut fahnden die Forschenden nach sogenannten Polymorphismen. Das sind „normale“ Varianten von Genen, die sich oft nur in einem einzigen Baustein unterscheiden. Obwohl jeder Polymorphismus für sich nur einen kleinen Effekt hat, könnten sich diese Effekte von Varianten verschiedener Gene summieren, sodass ein Mensch wahrscheinlicher eine Synästhesie entwickelt. Um das statistisch aussagekräftig festzustellen, sind die Genome von mindestens tausend Synästheten nötig. „Das haben wir fast

geschafft“, sagt Fisher. Jetzt rückt das erste Ziel näher: die Genome dieser tausend Menschen auf alle „verdächtigen“ Polymorphismen hin zu untersuchen. Kommen bestimmte dieser DNA-Varianten bei Synästheten häufiger vor als bei Menschen ohne Syn-

ästhesie, könnten diese Varianten mit dem Merkmal zusammenhängen.

Zum Zweiten fahndet das Team aus Nijmegen nach Familien, in denen Synästhesie über die Generationen hinweg gehäuft auftritt. In den Genomen



Frühe Kategorisierung: In Francis Galtons 1883 veröffentlichtem Buch über Psychologie finden sich Zeichnungen von Synästheten. Die Felder 64 und 65 zeigen Beispiele für die Wahrnehmung von Zahlen im Raum, begleitet von Farbempfindungen. Auf Tafel 66 sind die Monate des Jahres als Kreis angeordnet und mit Farben verbunden. Tafel 69 zeigt Farben oder Muster in Verbindung mit verschiedenen Buchstaben und Ziffern.

ILLUSTRATION: FRANCIS GALTON/INQUIRIES INTO HUMAN FACULTY (MACMILLAN 1883, SECOND EDITION, EVERYMAN, 1907)

dieser Menschen suchen die Forschenden mit ihren Hightech-Methoden nach Genen, die das ungewöhnlich hohe Vorkommen der Synästhesie in diesen Familien mit erklären. „Um das statistisch zuverlässig sagen zu können, benötigen wir große Familien“, erklärt Simon Fisher. „In ähnlichen früheren Studien zu Sprachstörungen haben wir eine Drei-Generationen-Familie untersucht, in der fünfzehn von dreißig Mitgliedern betroffen waren. Die Synästhesie-Familien, die wir bis jetzt gefunden haben, sind viel kleiner.“

Dennoch: Erste vorläufige Ergebnisse liegen vor. Dank der Kooperation mit Simon Baron-Cohen bekam die Fisher-Gruppe die Chance, Genome von drei Familien zu analysieren, in denen über mindestens drei Generationen hinweg fünf oder mehr Mitglieder jeweils eine Klang-Farb-Synästhesie hatten. Das Team um Erstautorin Amanda Tilot fischte unter den Genen 37 Kandidaten heraus, die mit Synästhesie zusammenhängen könnten. Zwar waren nicht immer alle diese Gene in allen drei Familien verändert. „Doch die Funktion eini-

ger von ihnen ähnelt sich“, erklärt Tilot. Sechs dieser Gene halten die Forschenden für besonders spannend, denn sie gelten als besonders wichtig für die Gehirnentwicklung in der frühen Kindheit. Sie sind daran beteiligt, dass sich die Fortsätze von Nervenzellen (sogenannte Axone) bilden und verschalten – ein Axonogenese genannter Prozess. Dabei vernetzen sich Nervenzellen mit Neuronen in anderen Hirnregionen. Die gefundenen Gene sind unter anderem im Seh- und Hörzentrum besonders aktiv. „Viele Wege könnten dazu führen, dass die Vernetzung der Nervenzellen durch leichte Abwandlungen der Axonogenese verstärkt wird“, betont Tilot – zum Beispiel durch Länge und Lage der Nervenfasern oder durch ungewöhnliche Verästelungen und andere Veränderungen der Form. Die Studie zeigt, wie genetische Unterschiede die Sinneserfahrungen beeinflussen können – möglicherweise über eine veränderte Vernetzung der Nervenzellen im Gehirn. „Die Synästhesie ist damit ein eindeutiges Beispiel für Neurodiversität, die wir respektieren und schätzen sollten“, sagt Simon Fisher.

„Die mögliche Rolle von Genen, die an der Axonogenese beteiligt sind, ist wirklich interessant“, betont Fisher. „Denn dies würde die These stützen, dass es bei Menschen mit Synästhesie eine erhöhte Konnektivität zwischen Hirnregionen gibt, die sonst eher nicht miteinander verknüpft sind.“ Doch es kursieren auch andere Theorien, welche die Synästhesie erklären sollen – zum Beispiel könnte auch die Balance der Nervenzellerregung im Gehirn verändert sein. „Letztendlich“, sagt Simon Fisher, „brauchen wir noch mehr Daten dazu.“ Deshalb setzt sein Team die Suche nach Synästheten für seine Studien unvermindert fort – über Kooperationen mit Forschungsgruppen weltweit, aber auch über andere Kanäle. Zum Beispiel stellen die Max-Planck-Forschenden auf der Homepage ihres Instituts die sogenannte Synaesthesia Battery zur Verfügung, eine Testmöglichkeit, die der Neurowissenschaftler David Eagleman von der

Stanford University entwickelt hat. Mit dem Selbsttest, den es auch als App fürs Smartphone gibt, lässt sich einigermaßen verlässlich bestimmen, ob ein Mensch von einer der gut untersuchten Formen von Synästhesie, etwa der Graphem-Farb-Synästhesie, betroffen ist oder nicht. Wer in dem Test als Synästhet identifiziert wird, kann an den Studien des Fisher-Teams teilnehmen.

## Das Klassenzimmer hat Einfluss

Darüber hinaus gibt es Hinweise, dass sich eine synästhesieartige Wahrnehmung erlernen lässt. Wie? „Zum Beispiel über ein intensives Lesetraining von Texten mit kolorierten Buchstaben“, erklärt Fisher. „So bekommen Menschen auch ohne diese genetische Veranlagung eine künstliche Synästhesie. Aber es scheint nicht das Gleiche zu sein, denn die Personen verlieren diese Gabe wieder.“ Dass Menschen mit echter Synästhesie ihre Gabe automatisch (ohne sich darauf konzentrieren zu müssen) und konsistent über die Jahre erleben, gilt als eines der zuverlässigsten Merkmale des Phänomens. In der Regel beginnt die Entwicklung in den Kinderjahren. „Die Synästhesie“, so Fisher, „ist ein überaus interessantes Beispiel dafür, wie Gene und Umwelterfahrungen zusammenwirken. Von Geburt an gibt es immer diese genetische Prädisposition.“ Doch die Farben, welche die Betroffenen zum Beispiel mit bestimmten Lauten oder Buchstaben assoziieren, entwickeln sich stets durch Umwelterfahrungen in der Kindheit. Das zeigen Studien der Synästhesieexpertin Julia Simner von der University of Sussex, für die sie britische Grundschulkindern über mehrere Jahre beobachtete. Ergebnis: Es braucht Zeit, damit sich eine Synästhesie entwickeln kann. Und, so Amanda Tilot: „Das Klassenzimmer kann eine zentrale Rolle in der Entwicklung von Synästhesie spielen, da dort Alphabet, Zahlen und der Kalender mit dem Gedächtnis in Verbindung gebracht werden.“

59

---

### AUF DEN PUNKT GEBRACHT

Bei Kindern treten synästhetische Assoziationen zunächst chaotisch und fließend auf, werden aber mit der Zeit beständiger.

Menschen mit Erkrankungen des autistischen Spektrums berichten deutlich häufiger als andere von Synästhesieerfahrungen.

Bei der Entwicklung von Synästhesie könnten mehrere Gene eine Rolle spielen, die an der Vernetzung von Nervenzellen zwischen verschiedenen Hirnregionen beteiligt sind.

---



Die wenigen Kinder jeder Grundschule, die in der britischen Studie zu Graphem-Farb-Synästheten wurden, assoziierten die Farben ihres Alphabets nach und nach während der ersten Schuljahre. Diese Kinder ordneten im Alter von sechs bis sieben Jahren rund 9 von 26 Buchstaben feste Farben zu. Ein Jahr später war die Farbe bei 12 bis 13 Buchstaben immer die gleiche, bei den Zehn- bis Elfjährigen traf das bereits auf 18 oder 19 Buchstaben zu. „Anfangs sind die synästhetischen Assoziationen chaotisch und fließend“, sagt Fisher, „aber mit der Zeit werden

sie beständiger.“ Viele dieser Kinder und Jugendlichen merken dann gar nicht, dass sich ihre Wahrnehmung von der anderer Leute unterscheidet.

## Synästhesie kann nützlich sein

Unter den Menschen, die ihr Dasein dann wirklich synästhetisch erleben, sind Frauen und Männer gleich oft vertreten, wie kürzlich eine Studie mit tausend Probanden ermittelt hat. Si-

mon Baron-Cohens Team hat zudem herausgefunden, dass Synästhesie häufiger unter Menschen mit Erkrankungen des autistischen Spektrums vorkommt – bis zu 20 Prozent dieser Menschen berichten von Synästhesieerfahrungen. Amanda Tilot weist in diesem Kontext auf den außergewöhnlichen Fall des Briten Daniel Tammet hin, der als Autist mit facettenreicher Synästhesie außergewöhnliche Leistungen vollbringt. So kann sich Tammet mehr als 20000 Nachkommastellen der mathematischen Zahl Pi merken und wiedergeben. Was zeigt: Synästhesie kann zuweilen nützlich sein. Graphem-Farb-Synästheten beispielsweise sagen oft, dass die Farben ihnen helfen, sich Telefonnummern oder andere numerische Informationen zu merken. In Studien haben Menschen mit Synästhesie bei Gedächtnisübungen besser abgeschnitten als Menschen ohne diese Fähigkeit, wenn sie ihre außergewöhnliche Wahrnehmung zum Erinnern nutzen konnten. In seinem Buch „Elf ist freundlich und Fünf ist laut“ beschreibt Daniel Tammet, wie er Farbe, Form und Ort jeder Zahl als einzigartig wahrnimmt und es ihm dadurch gelingt, komplexe mathematische Gleichungen in Blitzgeschwindigkeit zu lösen. Allgemein sind Menschen mit Synästhesie im Durchschnitt kreativer.

Interdisziplinär unterwegs: Simon Fisher führt in seiner Arbeit Erkenntnisse aus der Genetik und der Hirnforschung zusammen, um das Phänomen Synästhesie besser zu erklären.



FOTO: INTERNATIONAL-DYSLEXIA ASSOCIATION, IDA CONFERENCE OCT. 2018

Es gibt aber auch die Kehrseite der Medaille, wie Simon Fisher sagt: „Die vielen simultanen Wahrnehmungen können für die Betroffenen zuweilen erdrückend wirken.“ Manchmal gibt es auch Konflikte zwischen den gleichzeitigen Wahrnehmungen. Das kann verstörend sein – zum Beispiel wenn man Buchstaben liest und es parallel nach faulen Eiern stinkt. „Schwierig“, sagt die Synästhetin Lara Grabitz, „wird es immer dann, wenn die Systeme kollidieren, wenn meine inneren Systeme an die Systeme stoßen, die die Welt hat.“ Zum Beispiel, wenn im Orchester die Fingersätze, die ihr Pulsnachbar in die Noten schreibt, nicht zu den Zahlen passen, die sie mit den Tönen verbindet.

**Synästhesie-Selbsttest:**  
[www.mpi.nl/page/join-our-synaesthesia-genetics-research](http://www.mpi.nl/page/join-our-synaesthesia-genetics-research)



# ACH, MENSCH



WARUM SCHEITERN EHEN?  
WIE BEEINFLUSST DIE  
UMWELT UNSER GEHIRN?  
WIE TREFFEN WIR BESSERE  
ENTSCHEIDUNGEN?  
WIE FUNKTIONIERT  
MULTIKULTI? WARUM SPRECHEN WIR,  
WIE WIR SPRECHEN?  
WAS BEDEUTET  
WOHNUNGSLOSIGKEIT?  
WARUM IST ABNEHMEN  
SO SCHWER?

Geistes- und  
Sozialwissen-  
schaftler:innen  
im Gespräch

Die neue Podcastserie von detektor.fm  
und der Max-Planck-Gesellschaft

Jetzt auf allen Plattformen!





Die Alpaka-Dame Britta nach der Schur. Alpakas stammen aus Südamerika und sind mit den Lamas verwandt. Ihr Immunsystem produziert besonders einfach aufgebaute Antikörper. Diese lassen sich leichter für die Medizin nutzen.

BILD: MPI FÜR BIOPHYSIKALISCHE CHEMIE/ CARMEN RÖTTE

# BOOSTER VOM ALPAKA

TEXT: KLAUS WILHELM

Grundlagenforschung verläuft oft in verschlungenen Bahnen und führt nur über Umwege zu einer Anwendung. Bei Dirk Görlich vom Max-Planck-Institut für Multidisziplinäre Naturwissenschaften in Göttingen, begann der Weg mit Abwehrstoffen des Immunsystems von Alpakas. Die als Nanobodies bezeichneten Proteine hat der Forscher mit seinem Team in kürzester Zeit zu einem Wirkstoff gegen Sars-CoV-2 weiterentwickelt. Auch gegen die Omikronvariante des Virus gibt es schon Lösungen. Nun müssen die Nanobodies ihre Wirksamkeit und Verträglichkeit noch in klinischen Studien am Menschen beweisen.

Wenn Britta, Nora und Xenia ihren Stall am Göttinger Faßberg verlassen, bietet sich ihnen ein toller Blick über die zu ihren Füßen liegende Universitätsstadt. Sicherlich nicht ganz so atemberaubend wie in ihrer Heimat, den Anden, aber dafür sind die Tiere Teil eines außergewöhnlichen Forschungsprojekts. Die drei Alpakas gehören zu einer Herde von 22 Tieren am Max-

Planck-Institut für Multidisziplinäre Naturwissenschaften (bis Ende 2021 Max-Planck-Institut für biophysikalische Chemie).

Früher waren Alpakas allenfalls aus dem Streichelzoo bekannt. Inzwischen erfreuen sie sich auch bei Profi- und Hobbyzüchtern großer Beliebtheit. Mehrere Tausend dieser ursprünglich aus Südamerika stammenden, zu den Kamelen gehörenden Tiere werden inzwischen in Deutschland gehalten. Dirk Görlich und sein Team interessieren sich jedoch weniger für das süße Aussehen oder die Wolle der Alpakas als für eine Besonderheit ihres Immunsystems: Kamele produzieren bei Infektionen neben gewöhnlichen Antikörpern auch einfache Ausgaben davon. Während sich normale Antikörper aus zwei langen und zwei kurzen Aminosäureketten zusammensetzen, bestehen die einfachen nur aus zwei langen Ketten mit einer kleineren Bindestelle für ein Antigen. Möglicherweise können sie so Krankheitserreger an empfindli-

chen Stellen treffen, die normalen Antikörpern unzugänglich sind. Die Forschenden vermuten, dass ein breit gefächertes Antikörperarsenal die Immunantwort gegen unterschiedlichste Krankheitserreger flexibler und damit effektiver macht. Die sogenannten Nanobodies sind die kleinsten Antigen-bindenden Fragmente dieser einfachen Alpaka/Kamel-Antikörper.

Antikörper sind Proteine, die sich sehr selektiv an bestimmte Moleküle heften können, zum Beispiel an Oberflächenmoleküle von Krankheitserregern. Dadurch markieren sie die Eindringlinge als Zielobjekt für Immunzellen. Sie können die Moleküle aber auch direkt ausschalten. Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler setzen Antikörper deshalb ein, um Moleküle zu markieren oder zu blockieren und so deren Funktion zu studieren. Die geringen Mengen, die sie dafür benötigen, lassen sich von Tieren gewinnen. Dazu wird beispielsweise Kaninchen oder Ziegen eine

„antigene“ Substanz verabreicht, welche die Bildung des gewünschten Antikörpers im Körper der Tiere anregt. Aus Blutproben lassen sich die Antikörper dann isolieren.

Dank ihrer Fähigkeit, an bestimmte Moleküle zu binden, können Antikörper auch als Medikamente eingesetzt werden. Rheuma, Hepatitis B oder Tollwut zum Beispiel werden bereits mithilfe von Antikörpern behandelt. Auch zur Behandlung von Covid-19 kommen sie zum Einsatz. Doch in der benötigten Qualität und Menge lassen sie sich nicht aus Blutproben von Versuchstieren gewinnen. Stattdessen produziert man sie in genetisch veränderten Hamsterzellen. Das ist aufwendig und teuer, ist aber dem komplexen Aufbau der Antikörper aus kurzen und langen Aminosäureketten geschuldet, die zudem noch mit Zuckerketten dekoriert sind. Anders die Nanobodies: Wegen ihrer einfacheren Zusammensetzung sind sie auch einfacher herzustellen.

64 Auf den Einsatz von Nanobodies kamen Dirk Görlich und sein Team vor etwa sieben Jahren. Damals versuchten die Forschenden, die räumliche Struktur

## AUF DEN PUNKT GEBRACHT

Nanobodies sind einfacher aufgebaut als herkömmliche Antikörper. Daher können sie leichter in großen Mengen für den medizinischen Einsatz hergestellt werden.

Die neu entwickelten Nanobodies gegen Sars-CoV-2 neutralisieren das Virus schon in geringsten Mengen, wirken auch gegen die neuen Virusvarianten und können schnell an neue Mutationen angepasst werden.

Nanobodies könnten auch zur Behandlung von anderen Erkrankungen sowie von Schlangenbissen eingesetzt werden.

eines Proteinkomplexes aus der Transportmaschinerie der Zelle aufzuklären, indem sie Kristalle davon herstellten und ihn dann mit Röntgenstrahlen analysierten. Aber der Komplex ließ sich einfach nicht kristallisieren – bis schließlich ein Nanobody einer belgischen Firma an diesen Komplex gebunden wurde. „Das hat das Problem auf Anhieb gelöst“, berichtet Görlich. So entstand der Plan, Nanobodies künftig selbst herzustellen und dafür am Institut eine kleine Herde Alpakas aufzubauen. Seitdem sind die Göttinger zu Experten in Sachen Nanobodies avanciert. Sie nutzen Nanobodies als Werkzeuge in der Grundlagenforschung – zum Beispiel um spezifische Transportwege in Zellen zu blockieren oder als hochpräzise Sonden zur Lokalisierung von Proteinen in der Fluoreszenzmikroskopie.

Dann kam Corona. „Es war klar, dass wir Nanobodies gegen Sars-CoV-2 entwickeln können“, erzählt Görlich. Was folgte, war eine emotionale Berg- und-Tal-Fahrt für das gesamte Team, das sein Projekt mit enormem Einsatz verfolgte: „Es macht nämlich einen großen Unterschied, ob man Nanobodies für die Grundlagenforschung entwickelt oder für die Medizin. Im Labor sollen sie lediglich spezifisch an ihre Zielstruktur binden, und wenige Milligramm genügen, um Tausende Experimente durchzuführen.“ Für therapeutische Zwecke müssen sie ihr Zielmolekül aber nicht nur binden, sondern auch neutralisieren, und das in winzigen Konzentrationen, um Nebenwirkungen möglichst gering zu halten. Zusätzlich ist eine sehr hohe Stabilität erforderlich, damit die Nanobodies die Produktionsprozesse und eine mehrjährige Lagerung unbeschadet überstehen. Und sie sollten sich mindestens in Kilogramm-Mengen produzieren lassen.

Die Forschenden verabreichten Britta, Nora und Xenia einen entscheidenden Teil des Spike-Proteins von Sars-CoV-2: die Rezeptor-Bindedomäne, mit der das Coronavirus seine Wirtszellen erkennt und sich an sie anheftet. Das Immunsystem der Alpakas reagierte prompt und produzierte Antikörper gegen das Virus. Aus einer

kleinen Menge Blut isolierte das Team daraufhin die Baupläne für mehr als eine Milliarde unterschiedlicher Nanobodies und selektierte durch das sogenannte Phagen-Display aus dieser riesigen Bibliothek jene Moleküle, welche die Rezeptor-Bindedomäne des Virus am stärksten binden.

Doch welches davon schaltet das Virus am effektivsten aus? Matthias Döbelstein, Virologe und Direktor des Instituts für Molekulare Onkologie an der Universitätsmedizin Göttingen, und sein Team infizierten im Labor Zellkulturen mit Sars-CoV-2 und testeten die verschiedenen Nanobodies darauf, wie gut sie jeweils die Vermehrung des Virus blockierten. „Je geringer die Konzentration des Nanobodies sein kann, desto niedriger ist auch das Risiko von Nebenwirkungen“, erklärt Görlich. Die wirksamsten Nanobodies konnten noch in

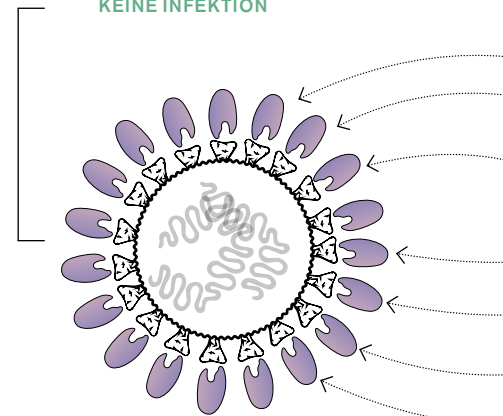


Nanobody



Nanobody-Tandem

EINDRINGEN IN DIE ZELLE VERHINDERT:  
KEINE INFektion





Konzentrationen von weniger als einem millionstel Gramm pro Liter eine Infektion von Zellen durch Sars-CoV-2 vollständig verhindern. Diese modifizierten die Forschenden so, dass sie auch bei Temperaturen von bis zu 95 Grad stabil bleiben und nicht verklumpen. Damit lassen sie sich einfacher herstellen, verarbeiten und lagern sowie sicherer einsetzen

Rezeptor-Bindedomäne erkennen. „Die Bindung dieser Tandems ist so stark, dass sie die neuen Mutationen tolerieren, mit denen sich das Virus dem Immunsystem zu entziehen versucht. Diese Strategie hat mit den Alpha-, Beta-, Gamma- und Deltavarianten des Virus perfekt funktioniert“, erläutert Thomas Güttler, Wissenschaftler in Görlichs Team.

Damit haben sie nun gleich mehrere Nanobody-Klassen entdeckt, die die Bindestelle aller bisherigen Varianten einschließlich Omikron bereits bei einer niedrig picomolaren Konzentration blockieren.

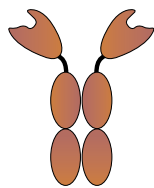
## Tandems gegen Varianten

Doch dann tauchten Varianten des Virus auf, die noch infektiöser waren als der ursprüngliche Erreger. Ihr Spike-Protein hatte sich so verändert, dass Antikörper den Erreger schlechter neutralisieren können. Dirk Görlich und sein Team koppelten deshalb zwei Nanobodies aneinander, die jeweils unterschiedliche Bereiche der

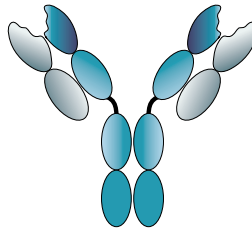
„Zwischenzeitlich hatten wir die Alpakas mit Proteinen der Virusvarianten erneut immunisiert und dann Nanobodies selektiert, die bereits als Monomere nicht nur den ursprünglichen Wuhan-Stamm, sondern auch Alpha bis Delta potent neutralisieren“, berichtet Metin Aksu, ebenfalls wissenschaftlicher Mitarbeiter des Teams. Für die kürzlich aufgetauchte Omikronvariante mit ihren 15 Mutationen in der Rezeptor-Bindedomäne mussten die Göttinger allerdings weitere Phagen-Display-Runden einlegen.

Bleibt das Problem der Produktion im industriellen Maßstab. Genügen für die Laborforschung wenige Milligramm der Mini-Antikörper, so braucht es für den weltweiten Einsatz gegen eine Pandemie viele Kilogramm davon. In entsprechend dimensionierten Bioreaktoren können Hefezellen, die mit der Erbinformation für die Nanobodies ausgestattet wurden, große Mengen davon herstellen.

Doch wer im Labor einen möglichen Wirkstoff gegen eine der schlimmsten Seuchen der jüngeren Geschichte entwickelt hat, dem stehen nicht automatisch alle Türen für klinische Studien offen. „Da war ich etwas naiv“,



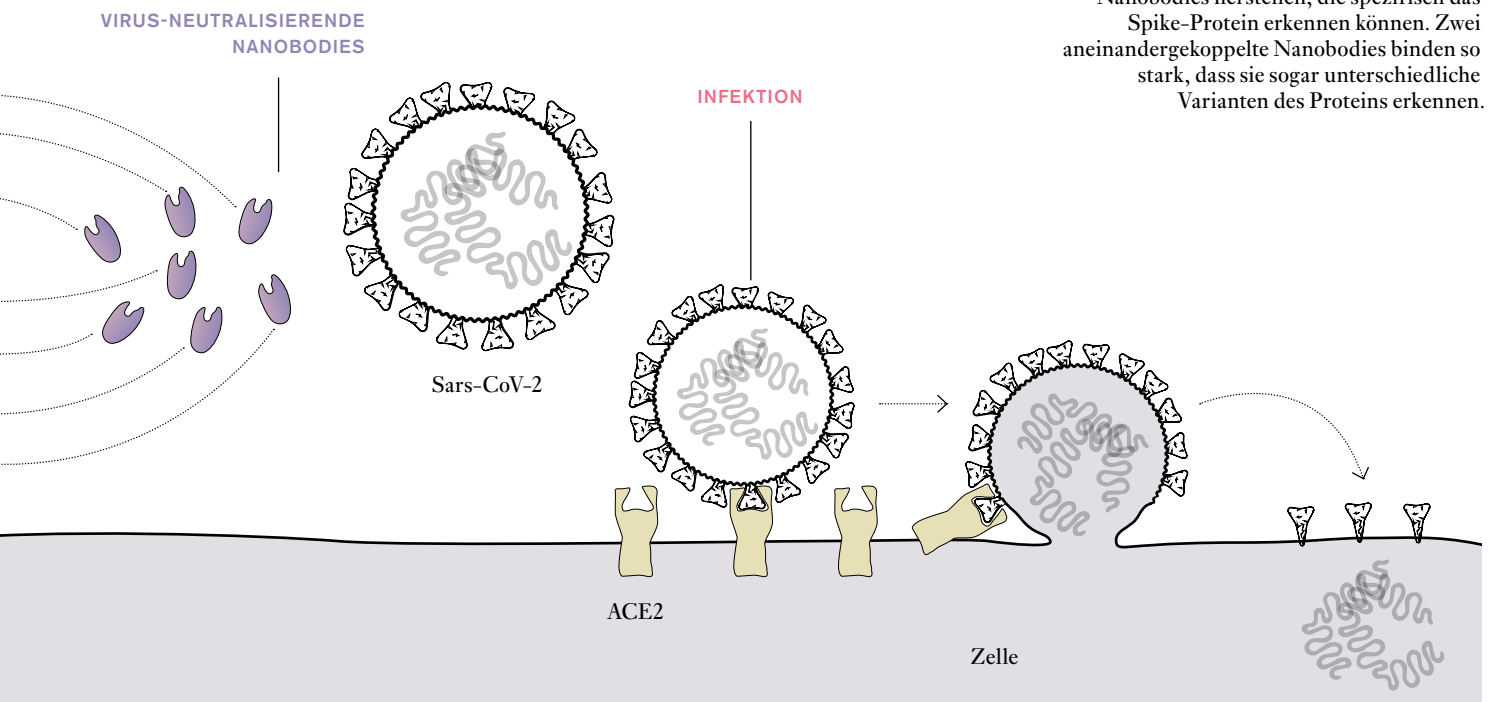
Alpaka-Antikörper



Herkömmlicher Antikörper

Das Spike-Protein auf der Oberfläche von Sars-CoV-2 bindet an die ACE2-Rezeptoren von Zellen. Antikörper des Immunsystems können es jedoch blockieren und so verhindern, dass das Virus in die Zellen eindringt. Klassische Antikörper-Proteine bestehen aus zwei langen und zwei kurzen Aminosäureketten. Die Mini-Antikörper von Alpakas besitzen dagegen nur zwei lange Ketten. Aus deren Bindedomäne lassen sich die sogenannten Nanobodies herstellen, die spezifisch das Spike-Protein erkennen können. Zwei aneinandergestellte Nanobodies binden so stark, dass sie sogar unterschiedliche Varianten des Proteins erkennen.

65



GRAFIK: GCO NACH VORLAGEN DER MPG



FOTO: MICHAEL DANNENMANN FÜR MPG

Im Labor des Göttinger Max-Planck-Instituts werden die Nanobodies so an das Spike-Protein des Coronavirus angepasst, dass sie verschiedene Varianten des Erregers blockieren können (links: Jürgen Schünemann und Kathrin Gregor, rechts: Waltraud Taxer (hinten) und Renate Rees).

66

sagt Görlich. Zunächst sollte eine Ausgründung der Max-Planck-Gesellschaft die Nanobodies für den Einsatz am Patienten optimieren und anschließend an Probanden testen. Das dafür erforderliche Geld ließ sich jedoch nicht in kurzer Zeit beschaffen. Die großen Pharmafirmen reagierten ebenfalls reserviert. Die Zurückhaltung der Industrie war auch darin begründet, dass Nanobodies als Arzneimittel noch sehr neu sind. Bislang hat es lediglich ein Produkt zur Behandlung einer seltenen thrombotischen Erkrankung auf den Markt geschafft.

## Mühsamer Weg zum Medikament

Erst im letzten Moment fand sich eine Firma aus Israel, welche die klinische Entwicklung übernehmen wird. „Die Verhandlungen waren recht mühsam und kompliziert. Wir mussten lernen, dass die Entwicklung eines Arzneimittels ganz eigenen Regeln folgt“, berichtet Dirk Görlich. Unterstützung erhält sein Team dabei durch Experten für Technologietransfer von Max-Planck-Innovation und des

Lead Discovery Center. Die Max-Planck-Förderstiftung unterstützt das Projekt finanziell.

Ermutigt durch die letztlich doch positiven Erfahrungen wollen die Göttinger Forschenden jetzt auch Nanobodies gegen Sepsis entwickeln. Diese landläufig auch als Blutvergiftung bezeichnete bakterielle Infektion endet nach wie vor in vielen Fällen tödlich. Antibiotika helfen zwar oftmals gegen die Bakterien, können jedoch deren Giftstoffe nicht eliminieren. „Wir wollen jetzt einen ganzen Cocktail von etwa einem Dutzend Nanobodies entwickeln, die sich genau gegen diese Gifte richten und sie blockieren“, sagt Dirk Görlich. Auch zur Behandlung von Schlangenbissen könnten Nanobodies ein wirksames Mittel sein. Bisher können die Toxine nur durch Pferdeserum unschädlich gemacht werden, allerdings mit teils erheblichen Nebenwirkungen.

Vom exotischen Abwehrstoff eines exotischen Versuchstiers zu neuartigen Medikamenten – die Entwicklung dieser neuen Antikörpertechnologie wäre ohne Grundlagenforschung nicht möglich gewesen.

---

## GLOSSAR

### NANOBODIES

Fragmente besonders einfach aufgebauter Antikörper, die das Immunsystem von Kamelen (u. a. Trampeltieren, Dromedaren und Lamas) gegen Krankheitserreger bildet. Anders als die klassischen Antikörper bestehen Nanobodies nur aus einer einzigen Aminosäurekette. Sie sind dadurch einfacher herzustellen und wasserlöslicher sowie hitze- und säurebeständiger. Außerdem können sie versteckt liegende Bindestellen anderer Proteine besser erkennen. Nanobodies werden deshalb für den breiten Einsatz in der Medizin getestet.

### PHAGEN-DISPLAY

Eine molekularbiologische Technik, um Nanobodies (oder andere „Binder“) aus sogenannten Immunbibliotheken zu isolieren. Dabei wird jeder Nanobody der Bibliothek direkt mit „seinem“ DNA-codierten Bauplan gekoppelt. Dafür verpacken Bakterien-infizierende Viren, sogenannte Phagen, die Bauplan-DNA und tragen den darin codierten Nanobody dann auf ihrer Oberfläche. Baupläne Antigen-spezifischer Nanobodies lassen sich anschließend isolieren, indem die Nanobodies an ein immobilisiertes Antigen gebunden und alle anderen Nanobodies weggespült werden.





# Im Herzen unwider- stehlich

**Für seine Forschung über das schwarze Loch im Herzen der Milchstraße erhielt Reinhard Genzel 2020 den Nobelpreis für Physik.**

Wir fördern sein Projekt GRAVITY+ am Max-Planck-Institut für extraterrestrische Physik, weil er mit dem weltweit größten virtuellen optischen Teleskop die galaktische Schwarzkraftfalle genau unter die Lupe nehmen und so ein neues Kapitel in der Astronomie schreiben will.

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

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

ANZEIGE

[www.maxplanckfoundation.org](http://www.maxplanckfoundation.org)



**MAX PLANCK**  
Förderstiftung

**Fingerabdrücke im Regenbogen:**  
Im Jahr 1814 entdeckte Joseph von Fraunhofer im Sonnenspektrum dunkle Linien. Später stellte sich heraus, dass diese von allen möglichen chemischen Elementen stammen. Heute ist die Spektralanalyse ein mächtiges Werkzeug der Astrophysik.

FOTO: N.A.SHARP, NOAO/NSO/KITT PEAK FT/ST/AURA/NSF

# KOSMISCHE DETEKTIVARBEIT

TEXT: THOMAS BÜHRKE

Die Chemie eines Sterns enthält wertvolle Informationen, etwa über seine Geschichte oder die Zugehörigkeit zu einer bestimmten Sternenfamilie. Um aus einem spektralen Fingerabdruck die Häufigkeiten der Elemente exakt zu ermitteln, bedarf es allerdings ausgeklügelter Methoden. Maria Bergemann vom Max-Planck-Institut für Astronomie in Heidelberg hat hier neue Standards gesetzt.

Die Natur ist eine elegante Baumeisterin. Aus nicht einmal hundert Elementen hat sie ein Universum mit einer enormen Vielfalt geschaffen, von diffusen Gaswolken über Sterne und Planeten bis hin zu intelligentem Leben. Der Trick: Atome üben elektrische Kräfte aus, verbinden sich zu einer Fülle von Molekülen und können Energie aufnehmen und abgeben.

Die chemische Zusammensetzung eines Körpers ist entscheidend für seine Eigenschaften. Unsere Erde etwa besteht überwiegend aus schweren Elementen wie Eisen, Sauerstoff, Silicium und Magnesium. Die weitaus häufigsten Elemente im All sind hin-

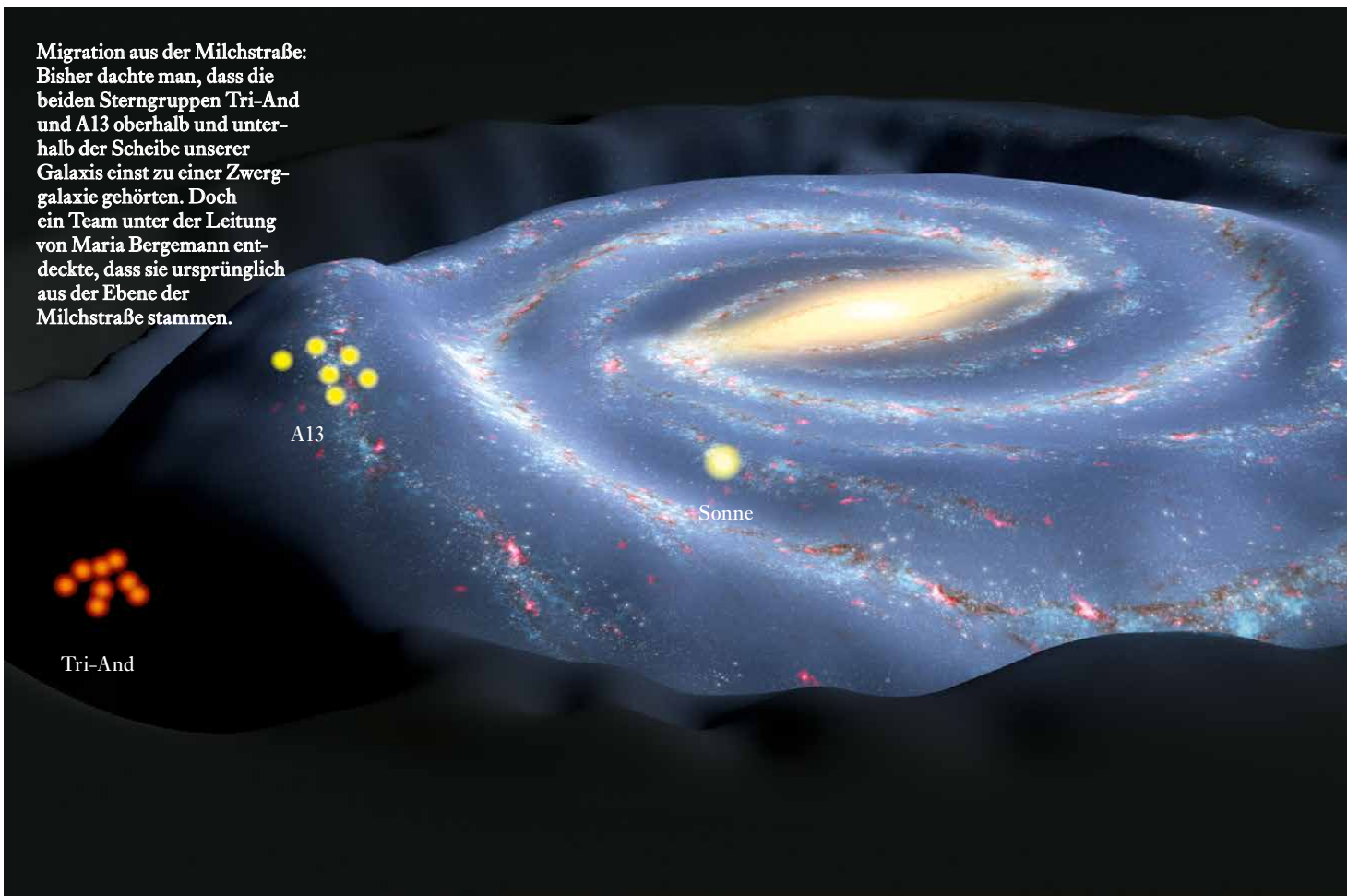
gegen die leichtesten Stoffe: Wasserstoff und Helium. Wegen ihrer Flüchtigkeit sind sie auf der Erde selten.

Sterne wie die Sonne sind heiße Gasbälle, die an ihrer Oberfläche noch heute die Zusammensetzung widerspiegeln, mit der sie geboren wurden. „Wenn wir jeden individuellen Stern in der Milchstraße einer bestimmten Familie zuordnen können, in der er geboren wurde, können wir deren Entwicklung rekonstruieren“, sagt Maria Bergemann, Lise-Meitner-Gruppenleiterin am Max-Planck-Institut für Astronomie. Das Problem ist nur: Es ist unmöglich, zur Sonne oder zu einem anderen Stern zu fliegen und eine Gasprobe zu entnehmen. Forschende benötigen eine andere Methode, um die Zusammensetzung zu ermitteln: die Sternspektroskopie. Im Grunde sind diese Überlegungen nicht neu, aber ihre Realisierung erfordert modernste Möglichkeiten der Teleskoptechnik und der Analyse von Sternspektren. Für Letzteres wandelt Maria Bergemann auf den Spuren von Joseph von Fraunhofer, Robert

Bunsen und Gustav Kirchhoff. Fraunhofer hatte 1814 mit einem Glasprisma Sonnenlicht in seine Regenbogenfarben aufgespalten. Der dabei erzeugte Farbfächer enthielt zu Fraunhofers Verwunderung an die sechshundert dunkle Linien. Von dieser Entdeckung angespornt, fand er auch in Spektren sehr heller Sterne dunkle Linien – teilweise an denselben Positionen, doch mit anderen Breiten und Stärken als bei der Sonne. Und genau diese Unterschiede geben Aufschluss über Zusammensetzung und Natur jedes Sterns.

Die entscheidende Deutung der sogenannten Fraunhoferlinien gelang Bunsen und Kirchhoff im Jahr 1860 in Heidelberg, wo auch Maria Bergemann forscht. Bei Spektralexperimenten mit Gasbrennern fiel den Wissenschaftlern auf, dass chemische Elemente im Spektrum bei ganz bestimmten Wellenlängen eine Linie erzeugen. Auf diese Weise konnten sie als Erstes Natrium in Fraunhofers Sonnenspektrum identifizieren. Heute ist die Spektralanalyse in vielen Be-

**Migration aus der Milchstraße:** Bisher dachte man, dass die beiden Sterngruppen Tri-And und A13 oberhalb und unterhalb der Scheibe unserer Galaxis einst zu einer Zwerggalaxie gehörten. Doch ein Team unter der Leitung von Maria Bergemann entdeckte, dass sie ursprünglich aus der Ebene der Milchstraße stammen.



70

reichen der Naturwissenschaften das mächtigste Werkzeug. Das gilt insbesondere für die Astrophysik, deren Beobachtungsgegenstände in unerreichbarer Ferne liegen. Die dunklen Linien im Sonnen- oder in einem Sternspektrum entstehen, wenn Licht aus dem heißen Innern durch die kühlere äußere Atmosphäre scheint. Atome und einfache Moleküle verschlucken dabei Licht bei den für sie charakteristischen Wellenlängen. Ein Spektrum ist wie ein Fingerabdruck. Bei der Sonne sind mehrere Hunderttausend Absorptionslinien im Spektrum sichtbar. Nun lautet die entscheidende Frage: Wie kann man aus der Tiefe und Breite der Linien die Elementhäufigkeiten bestimmen?

Hierfür benötigt man atom- und molekülphysikalische Größen, die im Labor gemessen werden. Aktuelle Listen zur Modellierung und Interpreta-

tion von Sonnenspektren basieren auf insgesamt mehr als hundert Millionen atomaren und molekularen Linien. Viele von ihnen überlagern einander und lassen sich gar nicht identifizieren. Man ahnt die Komplexität der Spektralanalyse.

In den vergangenen hundert Jahren haben Astrophysiker Theorien und Modelle entwickelt, um aus Spektrallinien physikalische Größen von Sternen zu berechnen. Dazu gehören Temperatur, Druck und Schwerebeschleunigung an der Oberfläche sowie die chemische Zusammensetzung. Solche Modelle mussten notgedrungen die Realität vereinfachen. So nahm man ursprünglich an, dass im Stern bestimmte Gleichgewichte herrschen: Druck und Gravitationskraft sorgen für ein hydrostatisches, Gas und Strahlung bilden ein lokales thermodynamisches Gleichgewicht.

„Jahrzehntelang wurden mit solchen stark vereinfachten Modellen aus Spektren die Häufigkeiten von Elementen bestimmt, aber die Ergebnisse sind teils um den Faktor fünf oder mehr falsch“, sagt Maria Bergemann. Ein Stern ist selbstverständlich keine vollkommen homogene Kugel, in der an jeder Stelle dieselben Verhältnisse herrschen.

Der überwiegende Teil der Sterne ist etwa so schwer wie die Sonne und leichter. All diese Sterntypen haben denselben prinzipiellen Aufbau: Im äußeren schalenförmigen Bereich, der bei der Sonne bis in eine Tiefe von etwa 500 000 Kilometern reicht, ist das Gas konvektiv, das heißt: Unablässig steigen heiße Gasmassen zur Oberfläche auf, kühlen durch Strahlung ab und sinken wieder ins Innere zurück. Dieses Auf und Ab der Materie lässt sich in ähnlicher Weise bei

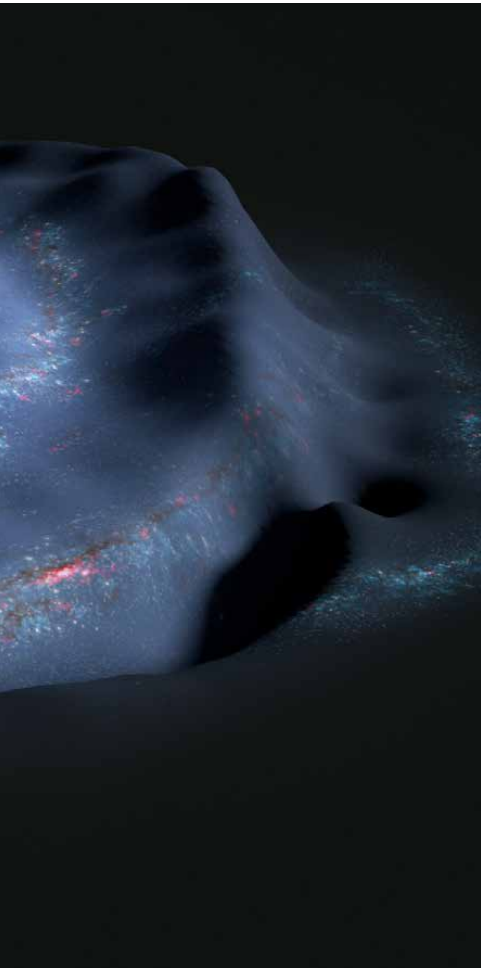


BILD: T. MUELLER/NASA/JPL-CALTECH

siedendem Wasser in einem Kochtopf beobachten. Darin entsteht ein Muster aus deutlich abgegrenzten Zellen, die man auf der Sonnenoberfläche als Granulen beobachtet.

Zusätzlich zur Konvektion kommt es in Sternatmosphären zu einer Vielzahl von Wechselwirkungen zwischen den Atomen untereinander und mit der Strahlung. Deswegen sind detaillierte Modelle nötig, um aus den gemessenen Spektrallinien die chemischen Häufigkeiten zu berechnen. Hierfür muss man das Paradigma des Gleichgewichts aufgeben.

Modelle, die auf ein lokales thermodynamisches Gleichgewicht verzichten (Non-LTE-Modelle), wurden zwar bereits in den 1970er-Jahren entwickelt, die praktische Anwendung auf die Analyse von Sternspektren ist jedoch erst vor etwa zwanzig Jahren mit dem Einsatz leistungsstarker Supercomputer möglich geworden. Dies hat vor allem mit den unzähligen Anregungsniveaus der Atome und Moleküle zu tun. Allein für neutrales Eisen müssen die Forschenden mehr als 600 Niveaus, fast 8000 Niveaübergänge durch Strahlung und 39 000 durch Zusammenstöße mit anderen Atomen berücksichtigen. Anfangs waren die Modelle

noch eindimensional, dann folgte eine Steigerung zu zweidimensionalen Rechnungen, bis kürzlich die Königsklasse der vollen dreidimensionalen Modelle möglich wurde. Nur mit klugen und effizienten Algorithmen kann ein Computer in vertretbarer Zeit solche Modelle rechnen. Maria Bergemann gilt in diesem Metier als Pionierin.

Doch wie findet man überhaupt heraus, welche Rechnung das richtige Ergebnis liefert? Hier fungiert die Sonne als Prüfstein. Jede Granule auf ihrer Oberfläche bildet eine Konvektionszelle, in deren Zentrum heißes Gas aufsteigt, während in den dunkleren Rändern kühleres Gas absinkt. Die chemische Zusammensetzung ändert sich jedoch nicht. Wenn man also ein Spektrum aus dem Zentralbereich und eines vom Rand nimmt, muss die Analyse dieselben Elementhäufigkeiten liefern.

Eine solche Analyse gelingt nur mit den neuen, dreidimensionalen Non-LTE-Modellen. Sie geben die unterschiedlichen Formen der Spektrallinien aus den heißen und kühleren Bereichen richtig wieder. Alle Berechnungen verschiedener Bereiche der Sonne und unterschiedlicher Niveaübergänge müssen einen selbstkonsistenten

71



Prüfstein Sonne: Auf der Oberfläche unseres Sterns zeigen sich jede Menge Granulen. Anhand dieser Konvektionszellen, in denen Gas ständig in Bewegung ist, lassen sich Modelle für die Spektralanalyse von Sternen testen.

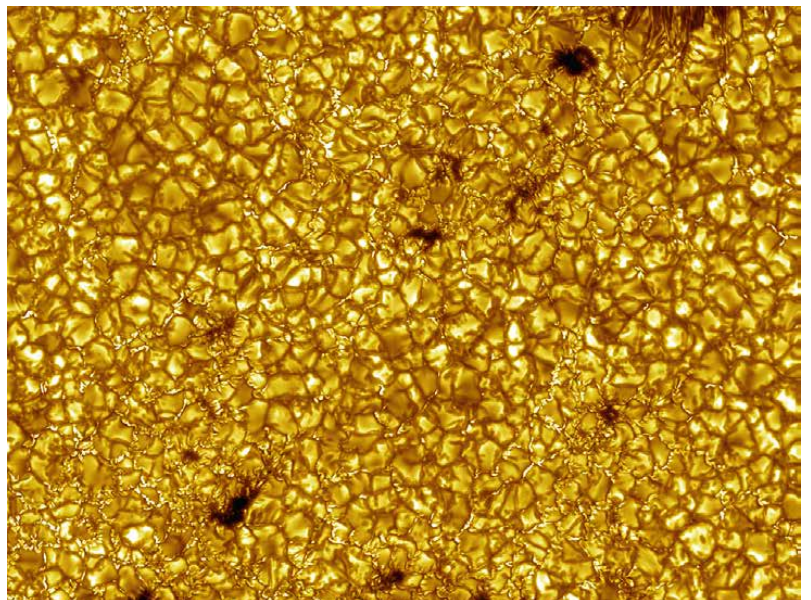


BILD: VASCO HENRIQUES

## AUF DEN PUNKT GEBRACHT

Die Häufigkeiten chemischer Elemente in den Sternen sind wie ein Fingerabdruck. Sie verraten die Zugehörigkeit eines Sterns zu einer Gruppe.

Die chemischen Unterschiede von Sternen in der Milchstraße oder einer fernen Galaxie erzählen viel über die Entstehung und Entwicklung dieser Sternsysteme.

Die Berechnung von chemischen Häufigkeiten aus einem Spektrum erfordert hochkomplexe Modelle sowie Kenntnisse über atomare Größen und dynamische Vorgänge in den Sternen.

versität Cambridge, bevor Bergemann 2014 ans Heidelberger Max-Planck-Institut für Astronomie kam, wo sie heute eine Lise-Meitner-Gruppe leitet.

Ihre Analysemodelle sind der Schlüssel zum Verständnis ganz unterschiedlicher astrophysikalischer Probleme. Es fällt nicht leicht, aus den vielen Ergebnissen einzelne herauszugreifen. Eines förderte jüngst ein Ereignis aus der Geschichte unserer Milchstraße zutage. Diese ist eine Spiralgalaxie, in der sich die meisten Sterne in der verhältnismäßig dünnen Scheibe bewegen. Doch auch außerhalb der Scheibe, im sogenannten Halo, finden sich Sterne. So gibt es zwei kleine Gruppen, jeweils etwa 14000 Lichtjahre ober- und unterhalb der Milchstraßenebene.

Bis vor Kurzem nahmen die meisten Fachleute an, dass diese Triangulum-Andromeda (Tri-And) und A13 genannten Gruppen ehemals zu einer Zwerggalaxie gehörten. Doch dann gewann ein internationales Team unter Bergemanns Leitung Spektren dieser Sterne. Das überraschende Ergebnis: Die Mitglieder dieser beiden Gruppen besitzen eine identische chemische Zusammensetzung – und diese entspricht jener von Sternen innerhalb der Milchstraßenebene.

## Die Galaxienscheibe schwingt

„Diese Sterne sind höchstwahrscheinlich aus der Scheibe herausgewandert und nicht Überreste einer mit der Milchstraße kollidierten Zwerggalaxie“, schließt Bergemann aus dem Ergebnis, das seitdem zahlreiche andere Teams bestätigt haben. Eine solche Sternwanderung lässt sich durch eine Schwingung der Galaxienscheibe erklären, ausgelöst durch die Gezeitenwechselwirkung einer nahe vorbeigezogenen, massereichen Satellitengalaxie. Computermodelle zeigen, dass hierbei die äußere Scheibe um bis zu 30 Grad nach oben und unten schwang und Sterne wie die in Tri-

And und A13 weit über die Mittelebene hinaus in den Halo befördern konnte. Damit gelang es der Heidelberger Forscherin und ihrem Team, eine weitere Leerstelle im großen Puzzle zur Entwicklung der Milchstraße zu schließen.

Ein anderes Ergebnis führt noch weiter in die Vergangenheit zurück. Im Urknall sind fast ausschließlich die beiden leichtesten Elemente, Wasserstoff und Helium, entstanden. Die ersten Sterne verschmolzen diese Stoffe in Fusionsreaktionen zu schwereren Elementen. Über starke Teilchenwinde und bei Explosionen von massereichen Sonnen als Supernovae gelangten diese neuen Stoffe ins All, wo sie der nächsten Generation von Sternen zur Verfügung standen, die wiederum in ihrem Innern schwerere Elemente erbrüteten. Aufgrund die-

Theoriwechsel: Entsteht eine Supernova vom Typ Ia immer durch die Explosion eines weißen Zwergs, wenn dieser von einer massereichen Muttersonne zu viel Materie aufgesaugt hat (links)? Nein, meint eine Gruppe um Maria Bergemann: Weitaus häufiger verschmelzen weiße Zwerge miteinander, nachdem sie einander eine Weile umtanzt haben (rechts).



ten Wert ergeben. So lassen sich die dreidimensionalen Non-LTE-Modelle auch zuverlässig auf ferne Sterne anwenden. „Etwa 95 Prozent meiner Zeit verbringe ich mit der Arbeit an den Modellen“, sagt Bergemann. Dabei kam sie eher zufällig zur Astronomie. Geboren und aufgewachsen im russischen Kasan studierte sie zunächst Geophysik. Doch das Interesse daran wollte sich nicht so recht einstellen. „Es war mir, ehrlich gesagt, etwas langweilig“, erinnert sie sich. Dann rieten ihr die Eltern, selbst Physiker: „Wenn man etwas ganz Grundlegendes entdecken will, muss man in die Astronomie gehen.“ Ein Rat, dem sie neugierig folgte.

An der Universität Moskau befasste sie sich im Rahmen ihrer Diplomarbeit mit Sternspektren. Das anschließende Angebot auf eine Doktorandenstelle an der Cornell University lehnte sie zugunsten der Ludwig-Maximilians-Universität in München ab, wo sie 2008 promovierte. Es folgten Aufenthalte am Max-Planck-Institut für Astrophysik in Garching und an der Uni-



ses zyklischen Prozesses reicherte sich das Universum mit schweren Elementen an, die für die Entstehung von Planeten und Leben notwendig waren.

Die allererste Sternengeneration formte sich vermutlich irgendwann zwischen 100 bis 300 Millionen Jahre nach dem Urknall. Ob einige von ihnen bis heute überlebt haben, ist unklar, nachgewiesen hat man bislang noch keinen. In der Milchstraße finden sich aber einige Sterne, die so wenige schwere Elemente enthalten, dass sie aus einer der ersten Generationen stammen müssen. Maria Bergemanns Postdoktorandin Camilla Hansen hat zwei dieser Sterne ausgewählt und ihre chemischen Häufigkeiten berechnet. Ein Vergleich mit Supernova-Computermodellen belegt, dass diese beiden Sterne wohl

tatsächlich zur zweiten Generation gehören und aus Materie bestehen, die zwei Sterne mit 25 beziehungsweise 19 Sonnenmassen bei ihrer Explosion ins All abgegeben haben. Auf diese Weise kann man also etwas über die ausgestorbene erste Sternengeneration erfahren.

Im vergangenen Jahr sorgte Bergemann für einige Aufregung in der Kosmologie: Sie veröffentlichte eine Arbeit, die auf eine der Säulen dieser Wissenschaft vom Ursprung und von der Entwicklung des Weltalls zielt: dunkle Energie. Nach derzeitiger Kenntnis erfüllt diese das Universum und wirkt wie ein Überdruck in einem Dampfkessel. Sie bläht den Raum auf und lässt ihn beschleunigt expandieren. Eine spektakuläre Entdeckung, für welche die US-Forscher Saul Perlmutter, Brian Schmidt und

Adam Riess 2011 mit dem Physik-Nobelpreis ausgezeichnet wurden.

Die Erkenntnisse der drei Wissenschaftler beruhen auf der Beobachtung eines bestimmten Typs von Supernovae, die man bis in große Entfernungen und damit bis weit in die Vergangenheit des Universums beobachten kann. Früher glaubte man, dass die meisten Supernovae – Typ Ia genannt – von einem weißen Zwergstern verursacht werden, der einen gewöhnlichen Stern umkreist. Dabei saugt er den Wasserstoff aus den äußeren Schichten des Begleiters ab und wächst dadurch. Überschreitet er eine bestimmte Masse, explodiert er. Da dies immer bei derselben Masse erfolgt, egal wie groß der weiße Zwerg anfangs war, sind alle Ia-Supernovae gleich hell und eignen sich hervorragend als Entfernungssindikatoren. So

→





FOTO: THOMAS HARTMANN

74

Gegen den Mainstream: Maria Bergemann leitet eine Lise-Meitner-Gruppe am Max-Planck-Institut für Astronomie und bringt mit ihrer Forschung so manches Paradigma ins Wanken.

die Theorie. In der Realität gibt es aber wohl mindestens drei weitere Möglichkeiten, wie eine Supernova Ia entstehen kann – etwa, wenn zwei weiße Zwerge einander umkreisen, sich einander nähern und schließlich zusammenstoßen. Diese Arten sind aber unterschiedlich hell, was sich auf die Entfernungsbestimmung und die daraus ermittelte beschleunigte Expansion sowie die dunkle Energie auswirkt. Wie könnte man nun herausfinden, welcher Typ von Supernovae Ia im All dominiert?

Interessanterweise produzieren die verschiedenen Typen Elemente wie Eisen und Mangan in unterschiedlichen Häufigkeitsverhältnissen. Und damit kommt Maria Bergemann ins Spiel. Sie bestimmte zusammen mit Kolle-

gen die Häufigkeiten von Eisen und Mangan in 42 Sternen unterschiedlichen Alters. So konnte das Team die Geschichte der Manganproduktion in unserer Galaxis rekonstruieren. Mit einem erstaunlichen Ergebnis: Um das Verhältnis von Mangan und Eisen erklären zu können, müssten drei Viertel aller Supernovae Ia in der Milchstraße auf verschmelzende weiße Zwerge zurückzuführen sein. Diese Sorte ist also offenbar die Regel und nicht, wie bisher angenommen, die Ausnahme. Könnte das Konsequenzen für die Theorie der dunklen Energie haben?

„Ich habe Adam Riess einmal darauf angesprochen“, sagt Maria Bergemann. „Er war davon nicht begeistert, ist aber nicht weiter darauf eingegangen.“ Die

neuen Ergebnisse werfen nicht das Konzept der dunklen Energie als Ganzes über den Haufen. Sie zeigen aber, dass offenbar einiges im Zusammenhang mit diesem mysteriösen Akteur noch ungeklärt ist.

Maria Bergemann jedenfalls fiebert einer spannenden Zukunft entgegen. Im Jahr 2020 erhielt sie den mit nahezu 1,4 Millionen Euro dotierten ERC Starting Grant für ihr Projekt „Elements“. Damit kann sie weitere Mitarbeitende finanzieren. Diese benötigt die umtriebige Forscherin etwa auch für die Messprogramme 4Most und Weave. 4Most – eine Kampagne der Europäischen Südsternwarte (ESO) in Chile, an der das Heidelberger Max-Planck-Institut maßgeblich beteiligt ist – wird am Südhimmel von mehr als 18 Millionen Sternen Spektren mit hoher Qualität gewinnen. Weave auf La Palma wiederum nimmt Millionen Sternspektren des Nordhimmels auf. Maria Bergemann wartet schon sehnsüchtig auf diesen Datenschatz. Doch angefangen hat alles mit einem Spektrum der Sonne vor mehr als 200 Jahren.

←

---

## GLOSSAR

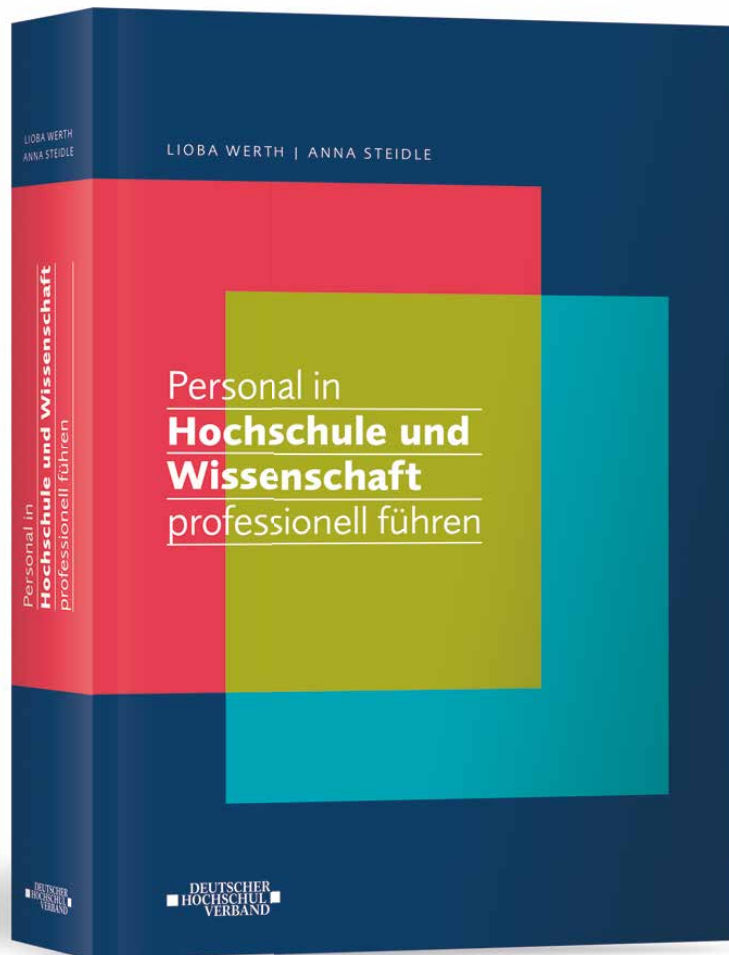
**DIE MILCHSTRASSE**  
ist eine Spiralgalaxie mit schätzungsweise 200 bis 300 Milliarden Sternen. Einer davon ist unsere Sonne. Die Galaxis besitzt die Form eines Frisbees, dessen Rand ein wenig gewölbt ist. Sie misst etwa 100 000 Lichtjahre im Durchmesser und ist in einen kugelförmigen Halo eingehüllt – eine Art Atmosphäre, die rund 150 Kugelsternhaufen sowie Gas von geringer Dichte enthält.

**DIE SPEKTRALANALYSE**  
ist eine Methode, bei der Licht durch optische Instrumente in einen „Regenbogen“ zerlegt wird. Bei der Sonne und anderen Sternen zeigen sich in einem solchen Spektrum charakteristische Linien, die auf bestimmte Elemente schließen lassen. Dadurch lässt sich die chemische Zusammensetzung dieser fernen Himmelsobjekte untersuchen.

---

# Personalführung in der Wissenschaft

Wissenschaftlich fundiert und gleichzeitig praxisnah beschreiben Lioba Werth und Anna Steidle die Grundlagen, die wichtigsten Instrumente und die besonderen Herausforderungen für Führungskräfte in Hochschule und Wissenschaft.



”

*Das Werk hat das Potenzial, das Standardwerk zum Thema Führung im Kontext von Wissenschaft und Hochschule zu werden.“*

**Professorin Isabell M. Welpe,**  
Inhaberin des Lehrstuhls für Strategie und Organisation an der TU München und wissenschaftliche Leiterin des Bayerischen Staatsinstituts für Hochschulforschung und Hochschulplanung

**Dr. rer. nat. habil. Lioba Werth** verfügt über jahrelange Lehr- und Forschungserfahrung als Professorin für Wirtschafts-, Organisations- und Sozialpsychologie. Neben ihrer wissenschaftlichen Tätigkeit hat sie mehrere Lehr- und Sachbücher geschrieben – unter anderem das auch vom Deutschen Hochschulverband herausgegebene Werk „In Forschung und Lehre professionell agieren“. Darüber hinaus leitet sie seit 20 Jahren ein Unternehmen für Beratung, Coaching und Training.

**Dr. rer. nat. habil. Anna Steidle** ist Professorin für Personalmanagement und Führung sowie Prorektorin für Forschung und Internationales an der Hochschule Ludwigsburg. Ihr Fokus in Forschung und Anwendung liegt auf einer leistungsförderlichen Gestaltung von Arbeit. Darüber hinaus ist sie als Trainerin und Organisationsentwicklerin tätig.

**Gebundene Ausgabe, 640 Seiten, 59 Euro (D) inkl. Porto, für DHV-Mitglieder zum Sonderpreis von 49 Euro inkl. Porto.**

Zu bestellen über:

Deutscher Hochschulverband, Rheinallee 18–20,  
53173 Bonn, Tel. 0228 9026666,  
Fax 0228 9026680 oder per Mail:  
dhv@hochschulverband.de





FOTO: MARTIN HEIMANN/MPI FÜR BIOGEOCHEMIE

Vom schmelzenden Eis modelliert: Wenn der Permafrostboden auftaut, können sich - wie hier am sibirischen Fluss Kolyma - Thermokarstseen bilden. Die Erderwärmung verstärkt diesen Prozess.

# TAUWETTER IM PERMAFROST

TEXT: KLAUS JACOB

Die dauerhaft gefrorenen Böden vor allem am nördlichen Polarkreis speichern mehr als eine Billion Tonnen Kohlenstoff. Doch mit dem Klimawandel tauen sie mehr und mehr auf. Ob dadurch große Mengen Treibhausgase freigesetzt werden, ist eine der wichtigen ungelösten Fragen der Klimaforschung. Auch Mathias Göckede, Leiter einer Forschungsgruppe am Max-Planck-Institut für Biogeochemie in Jena, geht ihr nach und ist bereits auf teils überraschende Antworten gestoßen.

Die Landschaft sieht nicht gerade so aus, als könne sie die Erderwärmung weiter befeuern: keine tiefen Täler, aus denen Schaufelradbagger Kohle fressen, keine Fördertürme der Ölindustrie und auch kein Wald, der Trockenheit oder Brandrodung zum Opfer zu fallen droht. Stattdessen eine eher karge Vegetation, nur ab und an kleine Baumgruppen, und immer wieder kleine und große Seen, teils verbunden durch natürliche Kanäle – viele Permafrostgebiete präsentieren sich mit ganz eigenem Charme. Doch die Gewässer, so idyllisch sie anmuten, zeugen von einer tiefgreifenden Veränderung. Denn viele von ihnen sind erst entstanden, seit der Klimawandel zuvor dauerhaft gefrorenen Boden tauen lässt. Damit könnte sich auch der Kohlenstoffspeicher auflösen, den der Permafrostboden bildet. Große Mengen des Elements, die

durch ganzjährigen Frost bislang gebunden waren, könnten bei steigenden Temperaturen in Form der Treibhausgase Methan und Kohlendioxid in die Atmosphäre entweichen und den Klimawandel zusätzlich anheizen – so eine Vermutung der Klimaforschung. Ob diese Befürchtung berechtigt ist, untersucht Mathias Göckede, Leiter einer Forschungsgruppe am Max-Planck-Institut für Biogeochemie in Jena.

Etwa ein Viertel der nördlichen Landmasse gilt als Permafrostgebiet. Dazu gehören fast ganz Grönland, große Teile Sibiriens, Nordkanadas und Alaskas. Ihren Gehalt an organischem Kohlenstoff beziffern Experten auf rund 1500 Milliarden Tonnen. Das genügt theoretisch, um die Konzentration von Treibhausgasen in der Atmosphäre zu verdreifachen. Das Potenzial des hohen Nordens, die Erderwärmung zu verstärken, ist also enorm. Das bestätigt auch der Weltklimarat in seinem jüngsten Gutachten. Der tauende Permafrost spiele mit hoher Wahrscheinlichkeit eine Rolle für das Klima der nächsten Jahrhunderte, heißt es. Mehr noch: Überschreitet die Erwärmung einen kritischen Wert, könnte diese Region verstärkt auftauen, und es gäbe wegen

des sich selbst verstärkenden Mechanismus kein Zurück mehr – das System könnte einen Kipppunkt überschreiten.

Doch wie schnell dieser Prozess abläuft und welche Mengen an Treibhausgasen dabei emittiert werden, ist bisher nicht geklärt. Es fehlt schlicht an Daten. Während Wetterdaten seit mehr als hundert Jahren aufgezeichnet werden, beschäftigt sich die Forschung noch nicht lange mit den Dauerfrostböden. Die Messreihen sind bisher nicht lang genug, um angesichts der natürlichen Wetterschwankungen einen verlässlichen Trend zeigen zu können. Im Winter schneit es mal viel, mal wenig, der Sommer ist mal extrem trocken, mal extrem warm, dann wieder sehr kalt. Und Corona hat die Forschung zusätzlich erschwert: Fast zwei Jahre waren alle Forschungsreisen gestrichen, sodass manche Datenreihe nun Lücken aufweist. Göckede und sein Team hatten jedoch Glück: Russische Kollegen lasen die Daten aus ihren Geräten aus. Obendrein konnten sie bereits im September wieder reisen: „Viele meiner internationalen Kollegen waren neidisch, weil für die meisten der Zugang zu ihren Messstandorten noch nicht möglich war“, sagt Göckede.

77



Dass sich etwas ändert im hohen Norden, ist auch ohne Messungen erkennbar. Fundamente von Gebäuden sacken ab, weil der tauende Boden nicht mehr trägt. In Tscherski, Göckedes Forschungsstützpunkt, ist 2019 nach einem warmen, trockenen Sommer ein Haus eingestürzt. Danach fehlte von dem lang gestreckten Gebäude der Mittelteil. Und im Mai 2020 zerbrach in der Industriestadt Norilsk gar das Tanklager eines Heizkraftwerks. Mehr als 20 000 Tonnen Diesel liefen aus und verursachten eine Umweltkatastrophe. Auch Böschungen rutschen ab, tiefe Krater und Seen entstehen. Dazu kommen vermehrt Brände, angefacht durch immer häufigere Gewitter, deren Blitze den Zündfunken liefern. „Bis vor wenigen Jahren noch gab es um Tscherski extrem selten Brände“, sagt Göckede. In den letzten zwei Jahren wüteten nahe den Untersuchungsflächen seines Teams einige Flächenbrände – dies sogar in Überschwemmungsgebieten, die eigentlich feucht sein sollten. Dass mit dem Klimawandel Kadaver von Tieren der Eiszeit wie Mammuts oder Höhlenbären aus dem ewigen Eis zum Vorschein kommen und untersucht werden können, ist da ein schwacher Trost.

78

Ob und, wenn ja, welche Mengen an zusätzlichen Treibhausgasen durch die Erwärmung der Permafrostgebiete freigesetzt werden, untersucht Göckede mit detaillierten Messungen. Dass dabei Methan und Kohlendioxid in die Atmosphäre gelangen können, liegt auf der Hand. Dazu zunächst ein Blick in die Wälder des warmen Südens: In gemäßigten Breiten oder in den Tropen nehmen Bäume Kohlendioxid aus der Luft auf und bauen es in Blätter, Äste und Stämme ein. Fallen die Blätter oder stürzt ein Baum um, zersetzen Mikroben die organische Substanz, sodass der Kohlenstoff wieder frei wird. Insgesamt sollte die Bilanz bei ausgewachsenen Wäldern und stabilem Klima also ausgeglichen sein. Im Permafrost gelten andere Regeln. Hier taut während des Sommers die obere Schicht des Bodens auf und gefriert im Winter erneut. Diese sogenannte Aktivschicht, die nicht zum Permafrost gehört, ist zwischen 40 Zentime-

ter und mehrere Meter dick. Darauf gedeiht zwar eine oft nur schütterere Vegetation, deren Rückstände werden aber kaum abgebaut. Die Ursache liegt nicht nur in den niedrigen Temperaturen, sondern auch in der Staunässe, die in arktischen Ökosystemen weit verbreitet ist. Über Jahrtausende konnte sich so Kohlenstoff – tiefgefroren – im Boden anreichern, manchmal bis zu einer Tiefe von mehreren Hundert Metern.

Steigen die durchschnittlichen Temperaturen nun an, wie seit einigen Jahrzehnten in der Arktis beobachtet, kann der Boden bis in größere Tiefen auftauen. Die darunterliegenden Permafrostschichten werden destabilisiert, und Mikroben bauen den darin enthaltenen Kohlenstoff ab. Dabei produzieren sie Treibhausgase wie  $\text{CO}_2$  und  $\text{CH}_4$ . In trockenen Systemen mit viel Sauerstoff im Boden erzeugt

die Mikrobengemeinschaft vornehmlich Kohlendioxid. Ist das Ökosystem dagegen wassergetränkt, produzieren anaerobe Mikroorganismen Methan, das einen besonders starken Treibhauseffekt ausübt. Welche Mengen an Methan in die Atmosphäre gelangen, wird maßgeblich beeinflussen, wie sehr der auftauende Permafrost den Klimawandel verstärkt.

## Schon die Anreise ist schwierig

Den Gasaustausch zwischen Luft und Boden exakt zu messen, ist allerdings eine Herausforderung. Zunächst müssen Göckede und sein Team ihr Untersuchungsgebiet erreichen, was schon schwierig genug ist: Sie fliegen nach Moskau, dann weitere sechs Stunden nach Jakutsk, der größten



**Klimakatastrophe:**  
Wegen des auftauenden Bodens sackte 2020 in der sibirischen Stadt Norilsk das Tanklager eines Heizkraftwerks ab und zerbrach. Mehr als 20 000 Tonnen Diesel traten aus und verschmutzten die Umwelt.

Stadt im sibirischen Permafrostgebiet, und von dort mit einer kleineren Maschine noch mal vier Stunden bis in den 2500-Einwohner-Ort Tscherski, rund 100 Kilometer vor der Mündung der Kolyma ins Polarmeer. Vom dortigen russischen Forschungsstützpunkt „Northeast Science Station“ starten sie zu ihren Versuchsfeldern. Auf einem ungestörten Areal der Tundra im Überflutungsgebiet der Kolyma haben sie zwei Türme aufgestellt, auf denen ihre Instrumente laufen. 20-mal pro Sekunde messen die Apparate die Konzentrationen von Methan, Kohlendioxid und Wasserdampf. Auch die Luftbewegungen werden aufgezeichnet. Die hohe Frequenz ist nötig, um die turbulenten Austauschprozesse in der bodennahen Atmosphäre zu erfassen. Nur so lässt sich ermitteln, welche Mengen an Kohlenstoff vom Boden und von der Vegetation aufgenommen oder

abgegeben werden. Ein weiteres Problem bei den Forschungen ist die Inhomogenität der Permafrostgebiete. Kein Areal gleicht dem anderen – hier ein junger See, dort ein schütteres Krüppelwäldchen, hier ein Überschwemmungsgebiet, dort eine Abbruchkante. Eigentlich müsste man viele Versuchsreihen starten, um diese kleinräumige Zergliederung in den Griff zu bekommen. Allerdings gibt es eine Bodenform, die häufig vorkommt. Sie zeichnet sich durch zahlreiche Eiskeile aus, die den Boden wie ein Netzwerk durchziehen. Bei einer Erwärmung tauen diese Keile verstärkt auf, und der Boden kann an den betreffenden Stellen absacken. So entsteht aus einer vormals weitgehend homogenen, ebenen Tundrafläche eine Landschaft aus Gräben, in denen sich Wasser sammelt, und relativ trockenen Inseln dazwischen. Diese Eiskeil-Degradation ist ein Prozess, der in den kom-

menden Jahrzehnten im hohen Norden häufig zu erwarten ist. Um zu verstehen, wie sich dabei die Kohlenstoff-Flüsse verändern, haben die Max-Planck-Forschenden den Effekt künstlich erzeugt und ein Gebiet von rund 200 Metern Durchmesser mit einem Drainagegraben trockengelegt.

## Derzeit fast kein zusätzlicher Treibhauseffekt

Diese Versuchsfläche existiert nun seit etwa siebzehn Jahren. Nach einem ersten Experiment über vier Jahre und einer darauffolgenden mehrjährigen Unterbrechung misst und beobachtet Göckedes Team dort seit acht Jahren kontinuierlich, wie sich die Landschaft auf der künstlichen Insel



verändert. Der Wandel ist deutlich sichtbar: Die Vegetation gedeiht, wächst in größere Höhe. Es gibt nicht mehr nur Gras, sondern auch Büsche.

Interessant sind natürlich vor allem die Emissionen von Treibhausgasen. „Die Ergebnisse haben uns überrascht“, sagt Göckede. Da anaerobe Mikroben auf der weitgehend trockenen künstlichen Insel keinen geeigneten Lebensraum mehr fanden, gingen die Emissionen von Methan zurück – gegenüber einer ungestörten Referenzfläche halbierten sie sich etwa, wie die Messungen zeigten. Beim Kohlendioxid sieht es hingegen anders aus: Da der Bewuchs zunahm, sollte das Ökosystem eigentlich mehr Kohlenstoff aufnehmen. Doch insgesamt betrachtet, war das Gegenteil der Fall: Die Vegetation sog zwar tatsächlich mehr Kohlendioxid aus der Luft, doch insgesamt gab das Ökosystem  $\text{CO}_2$  ab. Der Grund dafür waren steigende Emissionen aus dem tauenden Permafrostboden – die zusätzliche Aufnahmekapazität der Vegetation konnte diese nicht wettmachen.

80

Wenn man die gesamte Wirkung beider Treibhausgase auf den Treibhausef-

fekt bilanziert und dabei berücksichtigt, dass Methan ein wirkungsvolleres Treibhausgas als Kohlendioxid ist, ergibt sich derzeit fast kein zusätzlicher Treibhauseffekt. Weniger Methan, mehr Kohlendioxid – „der Nettoeffekt ist erstaunlich ausgeglichen“, erklärt Göckede. Damit hatte niemand gerechnet. Zunächst könnte die Treibhausgasbilanz der gestörten Permafrostgebiete trotz der deutlich veränderten Eigenschaften des Ökosystems also ähnlich ausfallen wie jene ungestörter Flächen in der unmittelbaren Umgebung. Allerdings ist noch unklar, ob sich diese Resultate auf andere arktische Regionen übertragen lassen. Diese Frage können nur Experimente an weiteren Standorten klären.

## Künftig vermutlich mehr Treibhausgase

Und was die langfristige Entwicklung betrifft, ist Mathias Göckede eher pessimistisch. Der Effekt der sprießenden Vegetation sei nicht von Dauer, selbst wenn er einige Jahre oder Jahrzehnte anhalte. Denn irgendwann lasse sich der Pflanzenwuchs nicht weiter steigern. Büsche

und Bäume können nicht in den Himmel wachsen. Voraussichtlich werden also der Beitrag der tauenden Böden und damit die Emission von Kohlendioxid und Methan steigen.

Eine andere Entdeckung von Göckedes Team ist der starke Einfluss einer Schneedecke auf den Permafrostboden. Als in einem Winter dreimal so viel Schnee fiel wie in einem durchschnittlichen Jahr, war die obere Bodenschicht teilweise mehr als zehn Grad wärmer als sonst, obwohl die Lufttemperatur im Vergleich zu den Vorjahren kaum verändert war. Da Schnee den Boden isoliert, können schneereiche Winter das Auftauen des Permafrosts erheblich beschleunigen.

Um den Permafrost zu erhalten und seine Treibhausgasbilanz zu verbessern, verfolgen russische Forschende einen originellen Ansatz: Sie setzen auf die Arbeit von Wiederkäuern. Vor rund 25 Jahren haben sie den „Pleistozän-Park“ geschaffen und seitdem mit erheblichem Aufwand ganze Herden von Tieren herbeigeschafft: Pferde, Moschusochsen, Bisons, Ziegen, Schafe, inzwischen sogar Kamel. Die Idee dahinter: Die Tiere düngen mit ihren Ausscheidungen

Im auftauenden Permafrost bilden sich zwischen den neu entstehenden Gewässern relativ trockene Inseln (rechts). Dort sinkt der Wasserspiegel (schraffierte blaue Fläche), verglichen mit dem ursprünglichen nassen Ökosystem (links), im Sommer ab. So können dort höhere Pflanzen wachsen. Durch den Klimawandel sammelt sich Schnee zudem früher im Herbst, er taut im Frühsommer auch etwas schneller wieder ab. Das trockene Ökosystem gibt im Vergleich zum nassen  $\text{CO}_2$  ab, setzt aber weniger Methan frei, sodass seine Treibhausgasbilanz etwa gleich ausfällt.

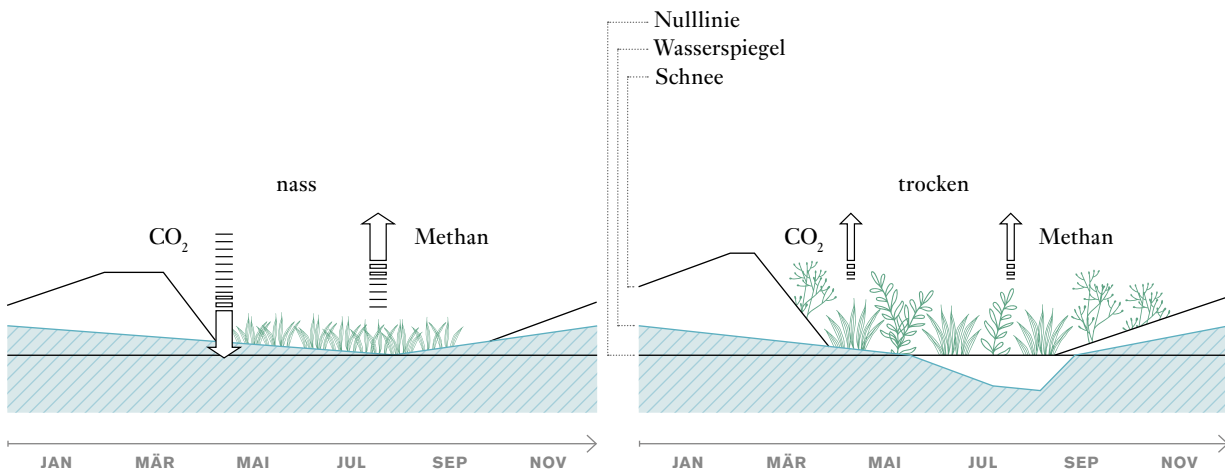




FOTO: MARTIN HEIMANN/MPI FÜR BIOGEOCHEMIE



Erodierende Permafrostklippen: Der Boden am Ufer des Kolymaflusses rutscht auf den noch gefrorenen Schichten ab und reißt organisches Material mit sich, das vom Fluss fortgespült und zu einem großen Teil zu Kohlendioxid zersetzt wird.

---

## AUF DEN PUNKT GEBRACHT

Wenn die Permafrostböden am Polarkreis durch die Erderwärmung auftauen, könnten große Mengen Kohlendioxid und Methan freigesetzt werden und den Klimawandel verstärken.

Durch gesteigertes Pflanzenwachstum nimmt das Ökosystem mehr Kohlendioxid auf. Laut Messungen eines Max-Planck-Teams kann dies derzeit die erhöhte Aktivität von Mikroorganismen, die Kohlendioxid oder Methan freisetzen, kompensieren.

Langfristig wird die Vegetation eine Wachstumsgrenze erreichen und nicht noch mehr Kohlendioxid speichern, sodass die Emissionen durch die Mikroorganismen überwiegen dürften.

81

den Boden, sodass mehr Grün wächst und die Kohlenstoffaufnahme gesteigert wird. Zudem scharren sie im Winter den Schnee zur Seite oder verdichten ihn, was die isolierende Wirkung herabsetzt. So könnte der Permafrost trotz steigender Temperaturen gefroren bleiben.

Ob dieser Ansatz trägt, ist noch ungeklärt. Tatsächlich hat sich die Landschaftsform inzwischen erheblich verändert. Wo vorher nur einzelne hohe Grasbüschel standen, gedeiht nun eine durchgehende Vegetation. „Das Experiment hat qualitativ funktioniert“, sagt Göckede. Doch als Wissenschaftler pocht er auf verlässliche Daten. „Ich möchte Messreihen haben, und die gibt es noch nicht.“ Er selbst unterstützt das Experiment seit zwei Jahren mit sporadischen Messungen. Das seien aber nur Schnapp-

schüsse, die nicht als Nachweis gelten. „Ein großes Monitoringsystem wäre nötig.“ Obendrein bezweifelt er, dass das Verfahren im größeren Maßstab überhaupt machbar wäre. Denn der Aufwand, die Tiere herbeizuschaffen und zu versorgen, ist enorm. Dennoch sei es wichtig, derartige Ansätze zu testen. Zur Erhaltung des Permafrosts könne jeder noch so kleine Erfolg am Ende ein wichtiger Beitrag sein.

Das beste Mittel, den Permafrost zu erhalten, ist freilich ein wirksamer Klimaschutz. Der Mensch entscheidet, wie sich das Klima in den nächsten Jahrzehnten und Jahrhunderten verändert – und damit die Regionen im hohen Norden. Göckede jedenfalls ist froh, dass er diese „faszinierende Landschaft“, wie er sagt, in ihrer heutigen Form noch erleben darf. „Wer weiß, ob es sie in zwanzig, dreißig Jah-

ren noch gibt.“ Er wird den Wandel im Rahmen eines EU-geförderten ERC-Projekts weiterverfolgen. Neben den Langzeitexperimenten will er verstärkt nichtlineare Prozesse erforschen, die das Erscheinungsbild der Arktis grundlegend verändern könnten. Zum Beispiel soll es darum gehen, was bei der Entstehung eines Sees passiert – ein Vorgang, der bei zunehmender Erwärmung wohl häufiger vorkommen wird. Eine Wasserfläche hat eine ähnlich isolierende Wirkung wie eine hohe Schneedecke, sodass der Boden darunter schneller auftauen sollte. Was genau bedeutet dies für die Treibhausgasbilanz? Und was passiert, wenn der See ausläuft? Es gibt viele derartige Störungsprozesse in der Arktis, die noch weitgehend unerforscht sind. Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler haben im hohen Norden also noch einiges zu tun.





Eingespieltes Team: Viele Arten der Pflanzengattung *Tococa* leben mit Ameisen in Symbiose. Die kleinen Insekten halten Schädlinge fern. Im Gegenzug bekommen sie von der Pflanze Nahrung und Unterschlupf.



Max-Planck-Forschende kooperieren mit Partnern in mehr als 120 Ländern. Hier schreiben sie über ihre persönlichen Erfahrungen und Eindrücke. Andrea Müller vom Max-Planck-Institut für chemische Ökologie in Jena ist für vier Monate nach Peru gereist. Im Tambopata-Nationalpark im Südosten des Landes untersucht sie Pflanzen, die in Symbiose mit Ameisen leben. Hier erzählt sie von ihrer Begeisterung für den Regenwald und davon, wie neben Corona auch protestierende Kokabauern die Freilandarbeit gefährden können.

Regenwald, das ist für mich Natur in Reinform. So viel Leben und Biodiversität findet man sonst nirgendwo auf der Welt. Es begeistert mich immer wieder, frühmorgens von den Vögeln und Affen geweckt zu werden, die klare Luft nach einem tropischen Regenguss einzuatmen und die zahllosen Pflanzen und Tiere zu erleben. Meine Dschungelpassion hat mich schon früher nach Südamerika ge-

führt. Als Praktikantin war ich in Ecuador, um an einem Wiederaufforstungsprojekt mitzuarbeiten. Wir haben damals mitten im Wald gewohnt, drei Stunden Fußmarsch von der nächsten Straße entfernt. Strom gab es nicht, und das Trinkwasser kam aus dem Fluss. Später habe ich den Kontinent allein mit dem Rucksack von Süd nach Nord durchquert. Deshalb war es für mich ein Glücksfall, dass sich am Jenaer Max-Planck-Institut die Gelegenheit ergab, in Peru zu forschen.

In meiner Doktorarbeit untersuche ich Pflanzen der Gattung *Tococa*, die in Symbiose mit Ameisen leben. Die Insekten finden Unterschlupf in speziellen Hohlräumen, die die Pflanze bereitstellt. Neben einer geschützten Unterkunft bekommen sie auch Nahrung in Form von Nektar. Im Gegenzug verteidigen die Ameisen die Pflanze gegen Fraßfeinde wie Raupen. Mich interessiert, wie das Zusammenleben beider Partner im Detail funktioniert. Kann sich die Pflanze dank ihrer Abwehrstoffe auch dann ausreichend verteidigen, wenn

die Ameisen fehlen? Oder lockt sie womöglich sogar gezielt Ameisen an, sobald sie von Raupen befallen wird? Um das herauszufinden, vergleiche ich Pflanzen, die von Ameisen besiedelt sind, mit solchen, von denen ich die Ameisen entfernt habe. Ich sammle Duftproben und Blätter, um am Institut in Jena die chemischen Inhaltsstoffe zu analysieren.

Meine Versuchspflanzen stehen im Tambopata-Nationalpark im Südosten Perus. Die Reise dorthin ist ein Abenteuer: Von Lima aus fliegt man über die schneebedeckten Anden und den Amazonasregenwald nach Puerto Maldonado. Von dort aus geht es im Holzboot auf dem Río Tambopata etwa drei Stunden lang flussaufwärts zur Lodge, vorbei an Wasserschwänen, Schildkröten und Kaimanen, die sich auf Sandbänken sonnen.

Die Holzhäuschen der Lodge sind normalerweise von Touristen und Wissenschaftlern aus aller Welt bewohnt. Bei meinem letzten Aufenthalt war allerdings aufgrund von Corona niemand da außer mir und Victor, dem



## LIMA, PERU

Verwalter der Anlage, und seiner Familie. Wir haben uns regelmäßig zum Essen getroffen und hin und wieder auch zu einer Nachtwanderung. Im Schein der Taschenlampe zeigen sich häufig Frösche, manchmal auch Spinnen und Skorpione. Mit denen habe ich überhaupt kein Problem. Schlangen sind mir dagegen nicht geheuer, zumal es in Peru viele giftige gibt.

Meine sechzig *Tococa*-Pflanzen wachsen auf einer Lichtung, etwa zehn Minuten von der Station entfernt. Der Fußweg dorthin führt über einen kleinen Fluss mit einer mittlerweile verwitterten Holzbrücke. Die Alukisten mit dem Flüssigstickstoff und den teuren Geräten hinüberzutragen, die ich zur Gewinnung der Duftproben brauche, ist jedes Mal ein Nervenkitzel. Würde den Apparaturen etwas zustoßen, bekäme ich in Peru keinen Ersatz.

Bei einem meiner letzten Freilandaufenthalte konnte ich keine Duftproben sammeln, weil meine Ausrüstung mitten im Nirgendwo auf der Strecke geblieben war: Wenn ich von Lima aus nach Puerto Maldonado fliege,

schicke ich die schweren Gerätschaften im Bus voraus. Einmal konnte der Bus tagelang nicht weiterfahren, weil protestierende Kokabauern eine Straßensperre errichtet hatten. Die Kisten kamen erst an, als ich schon wieder abreisebereit war. Mir blieb nichts anderes übrig, als sie auf demselben Weg zurückzuschicken.

Trotz solcher Pannen habe ich meine Experimente inzwischen erfolgreich beendet. Das beruhigt mich, vor allem, weil ich zu Beginn der Coronapandemie viel Zeit verloren habe: Im Frühjahr 2020 saß ich wochenlang in Lima fest, durfte wegen des Lockdowns die Uni nicht betreten und konnte auch keinen Rückholflug nach Europa ergattern. Erst nach sechs Wochen habe ich einen Flug nach Frankreich bekommen, um von dort aus nach Hause zu reisen. Wenn alles gut geht, werde ich meine Promotion im Laufe des nächsten Jahres abschließen. Danach will ich unbedingt noch einmal zurück nach Peru. Was die Zukunft angeht, so hoffe ich, dass sie Ameisenpflanzen oder andere Abenteuer bereithält!



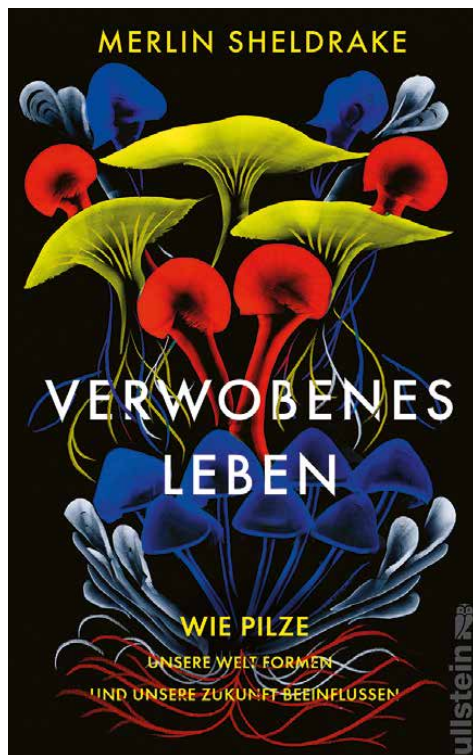
FOTO: PRIVAT

Andrea Müller

29, hat an der Universität in Jena Biochemie und chemische Biologie studiert. Für ihren Bachelor und den Master hat sie am Max-Planck-Institut für chemische Ökologie in Jena geforscht. Seit Februar 2018 ist sie dort Doktorandin in der Arbeitsgruppe von Axel Mithöfer. In Peru untersucht Andrea Müller die Symbiose zwischen tropischen Pflanzen und Ameisen.

## VERBORGENE WELT

Pilze sind überall. Sie gedeihen auf Tierleichen, gebrauchten Windeln und Zigarettenskippen ebenso wie in Flugzeugtanks oder den Ruinen von Tschernobyl. Trotzdem nehmen wir sie kaum wahr, sind „pilzblind“. Der britische Biologe und Pilzforscher Merlin Sheldrake möchte dies ändern: Sein mitreißendes Buch lenkt den Blick auf eine verborgene Welt und zeigt, wie Pilze unser Dasein beeinflussen. So erfährt man, wie sie Alkohol und Arzneimittel produzieren, Visionen erzeugen, Umweltgifte abbauen, nachhaltige Baustoffe liefern, das Verhalten von Tieren steuern und sich sogar auf unser Wetter auswirken. Bei seinen Schilderungen bleibt Sheldrake längst nicht nur Zaungast: Stets darauf bedacht, seine Studienobjekte mit allen Sinnen zu erfahren, nimmt der eigenwillige Wissenschaftler an einer klinischen Studie zur Wirkung von LSD teil, welches ursprünglich aus einem Getreidepilz gewonnen wurde. Er braut und verkostet Apfelwein, jagt Trüffel nach oder legt sich nackt in einen Berg verrottender Holzspäne, in dem ein Weißfäulepilz für wohlige Wärme sorgt. Sein Hang zum Skurrilen zeigt sich besonders schön, wenn er zu guter Letzt ankündigt,



sein eigenes Buch mit Pilzmycel anzupfen. „Wenn es sich durch die Wörter, durch die Seiten und Buchdeckel gefressen hat und Austernpilze auf dem Umschlag wachsen, werde ich sie essen.“ Der kulinarische Event lässt sich auf Youtube verfolgen.

Elke Maier

---

Merlin Sheldrake  
*Verwobenes Leben*  
448 Seiten, Ullstein Taschenbuch  
16,99 Euro

## DER URHAHN AUS DEM MÄRCHENWALD

Für Peter Berthold ist er der König des Waldes – der Auerhahn. Kein anderer Vogel hat es dem Autor so angetan wie dieses truthahngröße Tier mit seinen imposanten Balzritualen. Berthold erzählt von dem Beginn seiner Leidenschaft für die Urvogel vor 65 Jahren und vom Märchenwald am Rand der vielen Schwarzwaldmoore, die den Tieren den perfekten Lebensraum boten. Er berichtet von den Erkenntnissen seiner Auerhuhn-Forschung am Max-Planck-Institut in Radolfzell, aber auch in der für ihn typischen kraftvollen Sprache von seinen Begegnungen

mit den Vögeln, von ungezählten Nächten im Schlafsack im Märchenwald und von Attacken liebester, testosterongesteuerter Hähne. Begegnungen, die es so heute kaum mehr gibt, denn das Ende des Auerhuhns im Schwarzwald – neben den Alpen seine letzte Hochburg in Deutschland – scheint gekommen: Von Anfang des 19. Jahrhunderts schätzungsweise 10 000 Hähnen ist die Population auf heute nur mehr 140 gesunken. Wenn dieser Trend anhält, könnte die Bestandskurve schon im Jahr 2027 die Nulllinie treffen. Peter Berthold beschreibt ein-

dringlich die Gründe für diesen Niedergang und warum die durchaus vorhandenen, wenn auch zaghaften Rettungsversuche letzten Endes erfolglos geblieben sind. Und so wird aus der Hommage ein Abgesang auf einen der imposantesten Vögel unserer Wälder.

Harald Rösch

---

Peter Berthold  
*Auerhuhn*  
288 Seiten, Kosmos Verlag  
22,00 Euro

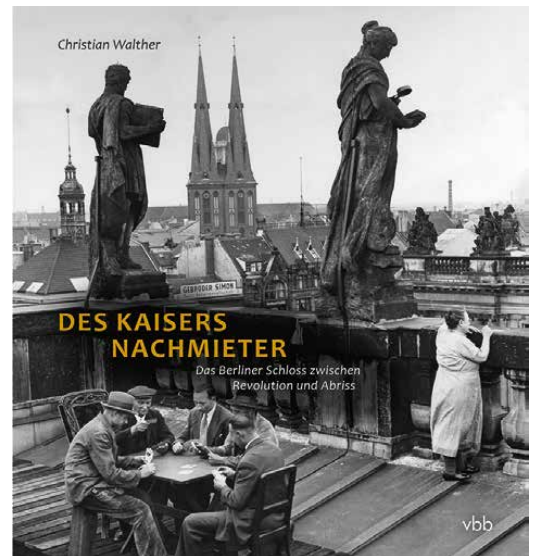


## DIGITALE KOMPETENZ



Gerd Gigerenzers Buch *Klick* ist wie die Vorläufer – *Risiko* und *Bauchentscheidungen* – ein intellektueller Lesegenuss. Mit der ihm eigenen Leichtigkeit führt der Psychologe durch die Risiken der digitalen Welt und erläutert anhand zahlreicher Beispiele, wie wir die Chancen sozialer Medien richtig einschätzen und unsere Privatsphäre schützen können: Wie wahrscheinlich ist es, beim Online-dating den Partner fürs Leben zu finden? Welche Daten sammeln smarte TV-Geräte, Autos und intelligente Häuser? Wie funktionieren Sozialkredit-Systeme bei Banken, Versicherungen, Telefongesellschaften und Onlineshops? Gigerenzer spannt dabei einen großen Bogen von den verschiedenen Ausprägungen der künstlichen Intelligenz über Algorithmen und die Brillanz menschlichen Denkens bis hin zum Überwachungs-kapitalismus großer Techkonzerne wie Google und Facebook, die wir mit unseren Daten bezahlen. Dabei verliert er sich nicht im Klein-Klein, sondern erklärt didaktisch, sachlich und – ja, auch das – amüsant. Manches wirkt anekdotisch, wird aber detailliert mit Studien belegt. Dem Autor geht es nicht darum zu belehren, sondern Risikokompetenz in einer unübersichtlichen digitalen Welt zu vermitteln. Dabei traut er uns im Wettstreit mit künstlicher Intelligenz einiges zu. Ganz rationaler Optimist, ermutigt er uns, auch online kluge Entscheidungen zu treffen und düsteren Zukunftsszenarien aufgeklärtes Wissen entgegenzusetzen. *Barbara Abrell*

Gerd Gigerenzer  
*Klick*  
416 Seiten, C. Bertelsmann  
24,00 Euro



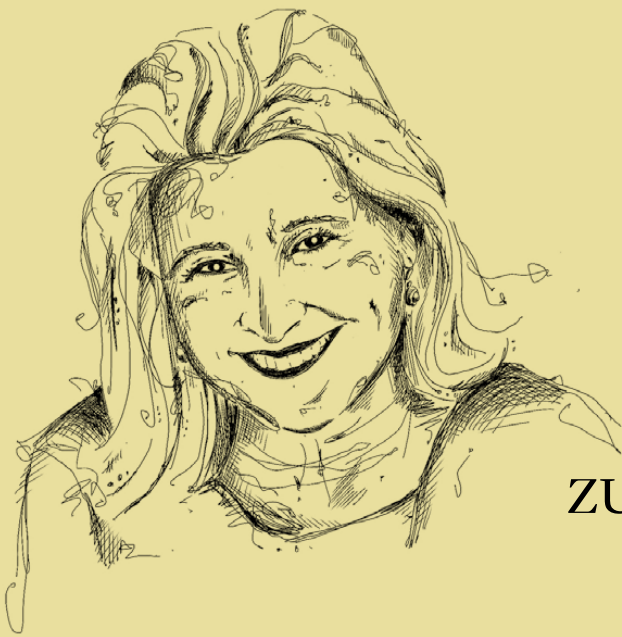
## EIN ORT DER EXPERIMENTE

Das Humboldt Forum hinter der rekonstruierten Fassade des Berliner Schlosses ist seit Sommer 2021 ein neuer Ausstellungsort von Kunst und Wissenschaft. Es gab allerdings Kontroversen darüber, ob die historische Formsprache dem Zweck angemessen sei. Dass der Barockbau von 1918 an ein Ort zukunftsweisender Experimente für die Organisation von Kunst und Wissenschaft war, zeigt Christian Walther. Unter den vielen Einrichtungen, die nach dem Auszug der Hohenzollern die königlichen Repräsentations- und Privaträume pragmatisch umnutzten, waren Museen, die Preußische Schlösserstiftung oder die Berliner Universität. Und die Verwaltung der Kaiser-Wilhelm-Gesellschaft (später Max-Planck-Gesellschaft) arbeitete im Schloss Tür an Tür mit ihren Instituten für Völkerrecht und Privatrecht. Sämtliche Neugründungen waren Reaktionen auf die Krise der

Wissenschaft infolge des Ersten Weltkriegs. Dabei eröffneten sich Chancen für Frauen, etwa für die Juristin Anne-Gudrun Meier-Scherling, später erste Richterin am Bundesarbeitsgericht, oder für Marie-Elisabeth Lüders, die im Schloss ein Tagesheim für Studentinnen gründete. Mit seinem Blick auf die Biografien wenig bekannter Frauen, welche die Neuorganisation der Kunst- und Wissenschaftsverwaltungen maßgeblich mitgestaltet haben, erzählt Walther die Geschichte von Institutionen neu und erfrischend anders – was sein Buch auch für Nichtberliner zu einer kurzweiligen Lektüre macht.

*Susanne Kiewitz*

Christian Walther  
*Des Kaisers Nachmieter*  
184 Seiten, BeBra Verlag  
25,00 Euro



# FÜNF FRAGEN

## ZUR PSYCHISCHEN GESUNDHEIT IN ZEITEN VON CORONA

AN TANIA SINGER

**Frau Singer, ein Lockdown stellt das alltägliche Leben komplett auf den Kopf. Wie hat die Bevölkerung Berlins die Kontaktbeschränkungen 2020 und 2021 erlebt?**

86 TANIA SINGER Während des ersten Lockdowns im März 2020 nahm die psychische Gesundheit deutlich ab: Mehr Menschen litten unter Ängsten, Stress und Einsamkeit bis hin zur Depressivität. Durch die Lockerungen im Sommer haben sich die Leute nach diesem Schockeffekt dann ein wenig erholt. Doch während des zweiten, noch längeren Lockdowns sank die alltägliche Widerstandsfähigkeit der Berlinerinnen und Berliner erneut, stetig, von Monat zu Monat des Lockdowns. Auf Strategien zur Bewältigung konnten sie nicht zurückgreifen, da die dafür notwendigen sozialen Kontakte stark eingeschränkt wurden. Daraus resultierte im Winter 2020/2021 ein deutlicher Ermüdungseffekt.

**Welche Gruppen waren am stärksten betroffen?**

Vor allem die 18- bis 25-Jährigen leiden sehr unter der Coronapandemie, ebenso Frauen. Nach dem ersten Lockdown waren sie schon geschwächerter, und danach begann die Abwärtsspirale noch einmal von vorne. Es ging Schritt für Schritt bergab. Die Widerstandsfähigkeit lässt sich häufig auch durch soziale Kontakte und durch Begegnungen mit anderen Menschen wieder aufbauen. Diese Möglichkeiten waren jedoch durch die beiden Lockdowns in hohem Maße eingeschränkt.

**Wie haben Sie dies herausgefunden?**

Wir haben im CovSocial-Projekt neben der mentalen Gesundheit und der Widerstandsfähigkeit auch den sozialen Zusammenhalt untersucht. Der zeigt sich etwa im Vertrauen, das wir anderen in sozialen Netzwerken und persönlichen Begegnungen entgegenbringen. Dabei haben wir den Zeitraum vom ersten Lockdown im Frühjahr 2020 über die Lockerung im Juni bis zum erneuten, langen Lockdown im Herbst 2020 und Winter 2021 beobachtet. Berlinerinnen und Berliner zwischen 18 und 65 Jahren wurden per Post nach dem Zufallsprinzip eingeladen, an dem Projekt teilzunehmen. Plakate in der U-Bahn machten Werbung dafür.

**Und danach wurde das Projekt in genau zwei Phasen unterteilt ...**


Ja, genau! In Phase eins wollten wir in einer Onlinebefragung wissen: Wie geht es Ihnen? Wie haben Sie diese Pandemie mit den verschiedenen Kontaktbeschränkungen wahrgenommen? Daraus resultierte – in Kombination mit der Messung von Stresshormonen – die Analyse des Ist-Zustandes. In der aktuellen Phase zwei wollen wir Hilfestellungen anbieten gegen erhöhten Stress und Einsamkeit. Mentales Onlinetraining mit kurzen täglichen Übungen soll aktiv Lösungswege aus dem isolierten Zustand heraus aufzeigen, beispielsweise mithilfe der CovSocial App. Diese Phase wird ebenfalls begleitet von Messungen der Stresshormone und Befragungen zu Mitgefühl, Empathie und Parametern der mentalen Gesundheit. Damit wollen wir herausfinden,

was sich in Bezug zur ersten Phase verändert hat und ob sich die Leute nach dem Training besser fühlen.

**Welche sozialen Veränderungen konnten Sie in der Gesellschaft beobachten?**

Der soziale Zusammenhalt, das Zugehörigkeitsgefühl zu Gruppen – eher ein Konstrukt aus der Ökonomie und der Politik –, hat während des zweiten Lockdowns stark gelitten. Das soziale makroskopische Gefüge fängt an zu bröckeln, die Solidarität untereinander sinkt. Daher haben Kontaktbeschränkungen auch auf gesellschaftlich relevante Variablen großen Einfluss. Dies muss die Regierung bei jedem neuen Lockdown mitbedenken. Denn jeder erneute Lockdown hinterlässt vermutlich einen noch größeren Ermüdungseffekt. Das heißt, die Gesellschaft wird immer anfälliger, die Widerstandsfähigkeit sinkt weiter. Wenn die Depressivität und die Einsamkeit von Jugendlichen in einem Alter steigen, in dem das Gehirn noch sehr formbar ist, ist das extrem ernst zu nehmen, auch in Hinblick auf Suizidalität und psychische Erkrankungen. Das ist vielleicht nicht sofort sichtbar wie etwa eine Covid-19-Erkrankung, aber ein riesengroßes Problem. Unser Ziel ist es, die Personen zu identifizieren, die besonders anfällig sind, um sie im Alltag besser unterstützen und ihnen helfen zu können.

*Interview: Valerie Zöllner / Barbara Abrell*

 [www.mpg.de/podcasts/pandemie-psychische-gesundheit](http://www.mpg.de/podcasts/pandemie-psychische-gesundheit)

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

**Niederlande**

- Nimwegen

**Italien**

- Rom
- Florenz

**USA**

- Jupiter, Florida

**Brasilien**

- Manaus

**Luxemburg**

- Luxemburg



IMPRESSUM

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

**Redaktionsanschrift**

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

**Verantwortlich für den Inhalt**

Dr. Christina Beck (-1276)

**Redaktionsleitung**

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

**Redaktion**

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

**Bildredaktion**

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

**Konzeptionelle Beratung**

Sandra Teschow und Thomas Susanka  
www.teschowundsusanka.de

**Gestaltung**

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

**Druck & Vertrieb**

Vogel Druck & Medienservice GmbH  
Leibnizstraße 5  
97204 Höchberg

**Anzeigenleitung**

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

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

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

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



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

**MAX PLANCK**  
GESELLSCHAFT

