

Ausgabe 01 | 2023

# MAX PLANCK

## *Forschung*

**75**<sup>JAHRE</sup> MAX-PLANCK-GESELLSCHAFT  
Ein Spiegel ihrer Zeit

**BIOLOGIE**  
Hunger ist Kopfsache

**ASTRONOMIE**  
Am Ursprung der Milchstraße



**ZUR SICHERHEIT**



FOTO: REUTERS/CARLOS BARRIA

**W**ürdigung für einen  
Verteidiger der Demokratie:  
Polizisten erweisen Brian  
Sicknick am Kapitol in  
Washington die letzte Ehre.  
Der Polizist verteidigte den

US-Kongress am 6. Januar 2021 gegen den Ansturm von Trump-Anhängern. Er starb einen Tag darauf an den Folgen zweier Schlaganfälle. Diese wurden gerichtlich als natürliche Todesursache eingestuft, unklar ist aber ob der Sturm auf das Kapitol zur Auslösung der Schlaganfälle beitrug.

# EDITORIAL

---

Liebe Leserin, lieber Leser

Das Kapitol in Washington ist das Symbol für Demokratie schlechthin. Der Sturm auf das Allerheiligste der amerikanischen Demokratie Anfang 2021 hat deutlich gemacht, wie verwundbar Demokratien sind. Auch in anderen Ländern ist die Gewaltbereitschaft gegenüber staatlichen Institutionen in den letzten Jahren gestiegen. Die Ereignisse scheinen oft in keinem erkennbaren Zusammenhang zu stehen, Fachleute sprechen von „Zufallsterror“. Neueste Forschungsergebnisse sehen jedoch keine sozial isolierten Einzeltäter am Werk, sondern eine Strategie miteinander vernetzter Gleichgesinnter. Diese schaffen durch Lügen und Verschwörungstheorien ein geistiges Umfeld, das solche Taten ermöglicht.

Eine vergleichsweise neue Form der Kriminalität ist das Verbreiten von Schadprogrammen, mit denen sich elektronische Geräte ausspähen lassen. Da bei der Entwicklung neuer Software die Sicherheit oft nachrangig ist, enthalten Programme häufig Schwachstellen, die Kriminelle ausnutzen können. Mit einem neuen Verfahren wollen Forschende diese Schlupflöcher effizienter aufspüren.

Wie sicher eine Gesellschaft ist, hängt auch von ihrem Umgang mit Straftätern ab: „Wegschließen – für immer!“ Das forderte 2001 der damalige Bundeskanzler Gerhard Schröder für den Umgang mit Sexualstraftätern. Auch bei anderen Gewaltdelikten werden oftmals besonders strenge Strafen gefordert. Doch senkt eine lange Zeit im Gefängnis die Gewaltbereitschaft? Erkenntnisse aus der Sozialpsychologie und der Hirnforschung legen nahe, dass ein Strafrecht, das auf Vergeltung, Abschreckung und Ausgrenzung setzt, genau die Gewalt fördert, die es eigentlich verhindern möchte.

Die vorliegende Ausgabe von *Max Planck Forschung* ist die erste nach einer großen Veränderung. Unser langjähriger Chefredakteur und hochgeschätzter Kollege Helmut Hornung hat sich vor Kurzem in den Ruhestand verabschiedet. Sein Lieblingsbonmot „Die Lücke, die er hinterlässt, ersetzt ihn vollkommen“ trifft in seinem Fall nicht zu: Er fehlt uns! Aber wir versprechen: Wir werden das Magazin mit derselben Begeisterung für die spannenden Geschichten rund um die Wissenschaft weiterführen.

Viel Spaß beim Lesen wünscht Ihnen

Ihr Redaktionsteam



30



36



52



58

BILDER: ALESSANDRO GOTTARDO (LINKS OBEN); ANTHONY SAJDLER (RECHTS OBEN); ADOBESTOCK / COMOFOTO (LINKS UNTEN); SVEN DÖRING FÜR MPFG (RECHTS UNTEN)

**30 | LEIDVOLL**

Die Erfahrungen von Strafgefangenen erschweren ihre Resozialisierung.

**36 | VERTRAUENSVOLL**

Hannah Pools Forschung wurde erst durch ihre engen Bindungen zu Flüchtlingen möglich.

**52 | GEHALTVOLL**

Fett- und zuckerreiche Nahrung spricht das Belohnungssystem im Gehirn besonders an.

**58 | ANSPRUCHSVOLL**

Die verknüpften Nervenzellen des Gehirns sind Vorbild für künstliche neuronale Netze.

# INHALT

---

## 03 | EDITORIAL

## 06 | ORTE DER FORSCHUNG

Palazzo Chiaramonte in Palermo

## 8 | KURZ NOTIERT

## 12 | ZUR SACHE

Es geht um die Wurst

Um den Klimawandel zu bremsen, müssen wir auch unsere Ernährung umstellen. Ein Mix aus sanften und harten Maßnahmen könnte den klimaschädlichen Fleischkonsum reduzieren.

## 16 | INFOGRAFIK

Die Evolution der Hausmaus

## IM FOKUS

Zur Sicherheit

## 18 | Vom Funken zum Feuer

Bei der zunehmenden politischen Gewalt scheint es sich oft um die Aktionen Einzelner zu handeln. Doch auch der „Zufallsterror“ folgt Mustern. Diese zu verstehen hilft bei der Prävention von Anschlägen.

## 24 | Schlupfloch im Programm

Eine neue Methode macht die Suche nach Sicherheitslücken in Software deutlich effizienter – Unternehmen wie Google nutzen sie bereits.

## 30 | Lebenslang

So wie Strafvollzug in vielen Ländern praktiziert wird, erschwert er die Wiedereingliederung in die Gesellschaft – aber es geht auch anders.

## 36 | BESUCH BEI

Hannah Pool

## 44 | ZWEITER BLICK

## 46 | 75 JAHRE MAX-PLANCK-GESELLSCHAFT

Ein Spiegel ihrer Zeit

Die Max-Planck-Gesellschaft ist bekannt für ihre wissenschaftlichen Erfolge, doch sie war und ist auch eine Akteurin der Zeitgeschichte, zum Beispiel bei der deutschen Wiedervereinigung.

## WISSEN AUS

## 52 | Hunger ist Kopfsache

Hunger und Appetit werden durch Prozesse im Gehirn gesteuert, die uns Menschen lange evolutionäre Vorteile brachten und entsprechend schwierig zu beeinflussen sind.

## 58 | Intelligenz mit Plan

Eine mathematische Theorie künstlicher neuronaler Netze soll helfen, künstliche Intelligenz besser zu verstehen und zu optimieren.

## 64 | Am Ursprung der Milchstraße

Die ersten Milliarden Jahre unserer Galaxie verliefen turbulent – mit einer Art kosmischer Archäologie lässt sich diese Geschichte rekonstruieren.

## 70 | POST AUS...

Grenada, Karibik

## 72 | NEU ERSCHIENEN

## 74 | FÜNF FRAGEN

zu ChatGPT und Urheberrechten

## 75 | IMPRESSUM

5

## TECHMAX

Wunderlampe aus dem Quantenland – wie der Laser den Alltag der Medizin erobert



HINABGESTIEGEN IN  
DAS REICH DES TODES



# ORTE DER FORSCHUNG

---



FOTO: SISTEMA MUSEALE DI ATENEO DELL'UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI PALERMO

Der spätgotische Palazzo Chiaramonte in Palermo, auch Lo Steri (Festungspalast) genannt, hat eine wechselvolle Geschichte. Heute eine von Palermos Sehenswürdigkeiten, war der Steri im 17. und 18. Jahrhundert Sitz des Inquisitionsgerichts und seiner düsteren Gefängnisse. Menschen verschiedenster Religionen und Herkunft waren hier inhaftiert. Die Wände der Zellen sind mit Zeichnungen bedeckt, teilweise in mehreren Schichten. Neben religiösen Darstellungen finden sich Karten und Inschriften in vielen Sprachen, unter anderem Italienisch, Sizilianisch, Hebräisch, Latein und Englisch.

7

Das Bild zeigt die auch heute vor allem in der Ostkirche noch sehr bedeutende Ikonografie des Abstiegs Christi in die Unterwelt: In der Zeit zwischen seinem Tod am Kreuz und der Auferstehung in der Osternacht steigt Christus ins Reich des Todes hinab. Dort errettet er die Seelen der Gerechten – hier verkörpert durch die Patriarchen des Alten Testaments – aus dem Rachen des Leviathan, des biblischen Ungeheuers, das die Sünder verschlingt. Ein kleines Tor auf der linken Seite der Zeichnung symbolisiert den Eingang zu den Kerkern. Die Inschrift darunter entspricht jener auf dem Tor zur Hölle in Dantes *Göttlicher Komödie*, übersetzt meist als „Ihr, die ihr hier eintretet, lasst alle Hoffnung fahren“. Doch Christus gibt dem Gläubigen Hoffnung auf Erlösung.

Das am Kunsthistorischen Institut in Florenz angesiedelte Projekt *Graffiti Art in Prison*, eine internationale Partnerschaft, geleitet von der Università degli Studi di Palermo, befasst sich mit historischen ebenso wie mit zeitgenössischen Graffiti und Wandmalereien. Es geht um Orte der Unfreiheit, Entbehrung und Zensur – Gefängnisse ebenso wie Konzentrationslager oder psychiatrische Kliniken – und die kreativen Reaktionen auf diese Umgebungen: materiell, körperlich, psychologisch, politisch, sozial, religiös, räumlich und zeitlich.

# HOHER BESUCH WEIT OBEN

Im Rahmen einer Brasilienreise besuchten Bundespräsident Frank-Walter Steinmeier und Bundesumweltministerin Steffi Lemke Anfang Januar 2023 das Amazon Tall Tower Observatory (Atto), ein Gemeinschaftsprojekt zweier Max-Planck-Institute mit zwei brasilianischen Forschungseinrichtungen. Forschende untersuchen dort die komple-

xen Wechselwirkungen zwischen dem größten tropischen Regenwald der Erde, der Atmosphäre und dem Weltklima. Susan Trumbore, Direktorin am Max-Planck-Institut für Biogeochemie und deutsche Koordinatorin des Atto-Projekts, führte die Delegation durch die Forschungsstation. Steinmeier und Lemke besichtigten unter anderem den

namensgebenden 325 Meter hohen Turm, den sie bis zur ersten Zwischenplattform in 54 Meter Höhe bestiegen. Die beiden zeigten sich beeindruckt von dem Hightech-Standort mitten im brasilianischen Regenwald. „Hier wird sozusagen der Puls des Weltklimas gemessen“, resümierte der Bundespräsident.

[www.mpg.de/19713754](http://www.mpg.de/19713754)



FOTO: BUNDESREGIERUNG / GUIDO BERGMANN

Über den Bäumen: Max-Planck-Forscher Stefan Wolff erläutert dem Bundespräsidenten auf der ersten Zwischenplattform von Atto in 54 Meter Höhe, welche Fragen in der Forschungsstation bearbeitet werden.

## REKORD BEI WENDELSTEIN 7-X

Gerade erst wieder in Betrieb genommen, und schon eine neue Bestmarke gesetzt: Nachdem Wendelstein 7-X drei Jahre lang umgebaut wurde und unter anderem eine leistungsfähigere Heizung sowie eine Wasserkühlung erhalten hat, haben die Forschenden des Max-Planck-Instituts für Plasmaphysik darin nun ein Plasma für acht Minuten stabil gehalten. Vor dem Umbau hatten sie das lediglich für 100 Sekunden geschafft. Letztlich soll Wendelstein 7-X ein Plasma 30 Minuten lang aufrechterhalten, um seine Eignung für die Kernfusion im Dauerbetrieb zu beweisen. Dabei wollen die Forschenden das Plasma auf 60 Millionen Grad aufheizen, was in einer größeren Anlage den 100 Millionen Grad entspräche, die für die Zündung der Kernfusion nötig sind. Im aktuellen Experiment heizten sie das Plasma auf 17 Millionen Grad, hatten in kürzeren Experimenten aber auch schon 30 Millionen Grad erreicht. Bei Wendelstein 7-X handelt es sich um einen Stellarator. Das ist ein Bauprinzip eines Fusionsreaktors, der durch die Verschmelzung leichter Atomkerne Energie erzeugen soll. Neben dem Stellarator erforscht das Max-Planck-Institut für Plasmaphysik den alternativen Tokamak. Als solcher wird auch ITER, das bis dato weltweit größte Fusionsexperiment, gebaut.

[www.ipp.mpg.de/5322014](http://www.ipp.mpg.de/5322014)

## AUSGEZEICHNET\*

BRENDA SCHULMAN

Mit dem Louis-Jeantet-Preis für Medizin geht eine der angesehensten Auszeichnungen der biomedizinischen Forschung dieses Jahr an Brenda Schulman, Direktorin am Max-Planck-Institut für Biochemie. Sie erhält den Preis gemeinsam mit Ivan Dikić von der Goethe-Universität in Frankfurt am Main für ihre Beiträge zur Erforschung des Proteins Ubiquitin, das eine Schlüsselrolle für die Gesundheit unserer Zellen spielt. Ubiquitin wird an andere Proteine angehängt, um sicherzustellen, dass verschiedene Prozesse in unseren Zellen in der richtigen Reihenfolge ablaufen. Eine Fehlfunktion kann zur Entstehung von Krankheiten wie Krebs oder von Infektionen beitragen. Brenda Schulman und Ivan Dikić haben solche wichtigen Steuerungsvorgänge des Ubiquitins aufgedeckt.



FOTO: MPI FÜR BIOCHEMIE / DAVID AUSSERHOFER



# KURZ NOTIERT



FOTO: ANNA SCHROLL FÜR MPG

Joachim Gauck, Bundespräsident a. D. und Max-Planck-Senator, sprach beim 75-jährigen Jubiläum der Max-Planck-Gesellschaft.

## BLICK ZURÜCK NACH VORN

Am 26. Februar 2023 feierte die Max-Planck-Gesellschaft ihre Gründung vor 75 Jahren. Mehr als 200 Gäste kamen zu einem Festakt im Deutschen Museum in München – unter ihnen Bundesforschungsministerin Bettina Stark-Watzinger, der niedersächsische Wissenschaftsminister Falko Mohrs und der US-amerikanische Generalkonsul Timothy Liston. Die Eröffnungsrede hielt Joachim Gauck, Bundespräsident a. D. und Senator der Max-Planck-Gesellschaft: Selten in der Geschichte der Menschheit, so Gauck, sei man so sehr auf die Unterstützung durch die Forschung angewiesen gewesen wie heute. Die aktuellen Krisen – darunter der Klimawandel als die wohl größte Herausforderung – hätten auch außerhalb der Forschungsgemeinschaft deutlich gemacht, wie

wichtig Wissenschaft ist. Der Historiker Jürgen Kocka, Mitglied der Forschungsgruppe zur Geschichte der Max-Planck-Gesellschaft, stellte deren Entwicklung in seinem Festvortrag als Teil der Zeitgeschichte dar. Eine gekürzte Fassung dieses Vortrags lesen Sie ab Seite 46. Max-Planck-Präsident Martin Stratmann nannte seine Wünsche für das Geburtstagskind: unter anderem ein langes Leben; den Mut, etwas aus den eigenen Gaben zu machen; die Fähigkeit, Wege jenseits ausgetretener Pfade zu suchen; ein gesundes Maß an Unangepasstheit; die Sehnsucht nach intellektueller Erfüllung und Neugier. Nach dem Festakt wurde die Ausstellung „Pioniere des Wissens“ über die Nobelpreisträgerinnen und -preisträger der MPG eröffnet.

[www.mpg.de/1990080](http://www.mpg.de/1990080)

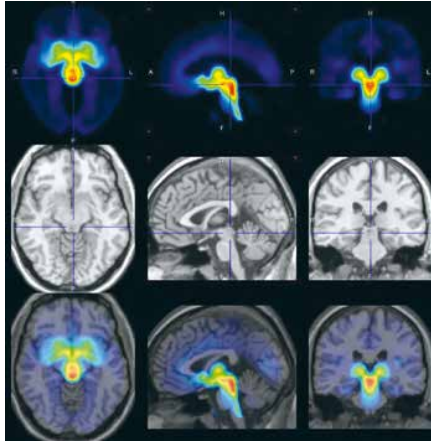
## EFFEKTIVER TEST

Eine zuverlässige Diagnose latenter Tuberkulose – einer symptomlosen und nicht ansteckenden Form der Krankheit – wäre ein wichtiger Baustein für die Bekämpfung des Erregers. Latent infizierte Personen stellen ein Reservoir für Tuberkelbazillen dar. Zudem kann die Krankheit bei einer Schwächung des Immunsystems ausbrechen. Vor immunsuppressiven Therapien, etwa vor einer Organtransplantation oder einer Chemotherapie, müssen Patienten daher auf latente Tuberkulose untersucht werden. Die verfügbaren Tests sind bei Menschen, die gegen Tuberkulose geimpft sind oder vor langer Zeit eine Tuberkuloseinfektion hatten, oft falsch-positiv. Das Schweizer Start-up Clemedi arbeitet nun an besseren Tests. Basis dafür ist eine Methode, die am Max-Planck-Institut für Infektionsbiologie in Berlin und an der Medizinischen Universität Wien entwickelt wurde und es ermöglicht, DNA des Erregers *Mycobacterium tuberculosis* aus dem Blut latent Infizierter zu extrahieren. Im Dezember 2022 hat Clemedi für die Nutzung dieser Technik eine Lizenzvereinbarung mit der Max-Planck-Gesellschaft und der Medizinischen Universität Wien getroffen.

[www.mpg.de/19676398](http://www.mpg.de/19676398)

Starke Schwankungen: Manche Frauen sind in den Tagen vor ihrer Regelblutung psychisch erheblich beeinträchtigt. Die Ursache ist eine relativ schnelle Veränderung im Transport des Botenstoffs Serotonin im Gehirn.

BILD: MPI FÜR KOGNITIONS- UND NEUROWISSENSCHAFTEN



## DEPRESSIVE TAGE

Das prämenstruelle Syndrom ist mittlerweile vielen ein Begriff. Des-  
sen schwerere Form, die prämenstruelle  
Dysphorie (PMDS), beeinträchtigt Betroffene besonders stark. Symptome sind etwa Schlafstörungen, Depressionen, Aggressivität und Konzentrationsstörungen. Bis zu acht Prozent der Frauen im gebärfähigen Alter sind davon betroffen. Ein Forschungsteam des Max-Planck-Instituts für Kognitions- und Neurowissenschaften und des Universitätsklinikums Leipzig hat herausgefunden, dass der Spiegel des Botenstoffs Serotonin im Gehirn bei Frauen mit PMDS kurz vor der Menstruation sinkt. Dieser Befund ist überraschend, weil man bisher dachte, die Regelung des Serotoninspiegels sei ein individuelles Merkmal, das sich nicht in kurzfristigen Zeitspannen von zwei Wochen verändert – normalerweise geht man von geringfügigen Veränderungen alle zehn Jahre aus. Diese Erkenntnis kann nun in der Therapie genutzt werden, indem die Patientinnen gezielt, nur über wenige Tage, Antidepressiva mit einem Wirkstoff einnehmen, der die Wiederaufnahme von Serotonin hemmt.

[www.mpg.de/19816722](http://www.mpg.de/19816722)

## MUSIKALISCH, ABER PSYCHISCH LABIL

Intuitiv glauben viele Menschen, Musizieren sei gut für eine gesunde Psyche. Dennoch wies 2019 ein Forschungsteam erstmals einen Zusammenhang zwischen musikalischem Engagement und psychischen Problemen nach. Demnach berichten musikalisch aktive Menschen häufiger über Symptome von Depressionen, Burn-out und Verhaltensstörungen als Personen, die nicht Musik machen. In einer weiteren Studie hat das Team, das inzwischen am Max-Planck-Institut für empirische Ästhetik forscht, nun den genetischen Zusammenhang zwischen Musikalität und der Veranlagung für psychische Erkrankungen untersucht. Die Auswertung zeigte, dass Personen mit einem höheren genetischen Risiko für De-

pressionen und bipolare Störungen im Durchschnitt häufiger musikalisch aktiv waren, mehr übten und Leistungen auf höherem künstlerischem Niveau erbrachten. Diese Zusammenhänge traten unabhängig davon auf, ob die Personen tatsächlich psychische Probleme hatten. Gleichzeitig hatten Teilnehmende mit einer höheren genetischen Veranlagung zur Musikalität im Durchschnitt auch ein etwas höheres Risiko, an einer Depression zu erkranken – unabhängig davon, ob sie tatsächlich ein Musikinstrument spielten oder nicht. Diese Ergebnisse untermauern die Vermutung, dass teilweise dieselben Gene das musikalische Engagement und die psychische Gesundheit beeinflussen.

[www.mpg.de/012023de](http://www.mpg.de/012023de)

## ERST DIE LANDWIRTSCHAFT MACHT DAS UNKRAUT

Intensive Landwirtschaft übt einen so starken Selektionsdruck auf Wildpflanzen aus, dass diese sich zu schwer kontrollierbaren Unkräutern entwickeln können. Das zeigt eine Studie, an der Forschende des Max-Planck-Instituts für Biologie Tübingen beteiligt waren. Die Wissen-

schaftlerinnen und Wissenschaftler haben das Erbgut des Raufrucht-Wasserhanfs von heute mit dem von 200 Jahre alten Exemplaren in Museen verglichen. Die Pflanze ist in Nordamerika heute ein von Landwirten gefürchtetes Unkraut. Besonders häufig waren in den heutigen Pflanzen Gene verändert, die für schnelleres Wachstum sorgen und die Pflanzen unempfindlicher gegen Trockenheit und Pflanzenvernichtungsmittel machen. Auffällig ist, dass die Häufigkeit von Genvarianten, die an die moderne Landwirtschaft angepasst sind, seit deren Intensivierung in den 1960er-Jahren schnell angestiegen ist. Von den sieben Resistenzgenen des heutigen Wasserhanfs gegen Herbizide kamen zum Beispiel fünf in den historischen Exemplaren noch nicht vor. Pflanzen, welche eine dieser sieben Mutationen besitzen, produzieren fast 20 Prozent mehr Nachkommen als Pflanzen im Jahr 1960.

[www.mpg.de/19619839](http://www.mpg.de/19619839)



FOTO: UNIVERSITY OF BRITISH COLUMBIA / JULIA KREINER

Maispflanzen wachsen inmitten von Wasserhanf (rechts) schlechter als ohne das Unkraut (links).

## ATTRAKTIVE PILZE

Massenbefall mit Borkenkäfern schädigt zunehmend Wälder in Deutschland, die bereits durch hohe Temperaturen und anhaltende Dürreperioden geschwächt sind. Einer der wichtigsten Schädlinge ist der Fichtenborkenkäfer, auch Buchdrucker genannt. Haben die Käfer einen geeigneten Baum gefunden, so geben sie Duftstoffe ab, sogenannte Pheromone, die Artgenossen anlocken. Die Käfer verbünden sich zudem mit Pilzen in der Rinde, damit sie sich in den Bäumen vermehren können. Die Pilze versorgen die Käfer mit Nährstoffen und schützen sie vor Krankheitserregern. Außerdem helfen sie den Käfern, die Abwehrkräfte der Bäume zu überwinden. Ein internatio-

nales Forschungsteam unter der Federführung des Max-Planck-Instituts für chemische Ökologie hat nachgewiesen, dass die Buchdrucker Substanzen attraktiv finden, die die Pilze beim Abbau von Fichtenharz freisetzen. Die Insekten nehmen die gasförmigen Verbindungen mit spezialisierten Sinneszellen auf ihren Antennen wahr. Welche für die Borkenkäfer nützlichen Pilze im Baum vorhanden sind, ist vermutlich entscheidend für den Massenbefall. Die Forschenden testen nun, ob die zur Abwehr von Borkenkäfern eingesetzten Pheromonfallen wirksamer sind, wenn sie Substanzen aus dem Pilzstoffwechsel enthalten.

[www.mpg.de/19880257](http://www.mpg.de/19880257)



Ein frisch geschlüpfter Buchdrucker ist in seiner Puppenwiege von Pilzsporen umgeben.

## INS RICHTIGE TRÖPFCHEN

Proteine einer Zelle sammeln sich häufig in Tröpfchen, sogenannten Kondensaten, die Öltröpfchen in einem Salatdressing ähneln. In der konzentrierten Form können die Proteine ihre Aufgaben besser erfüllen. Spezielle Abschnitte der Aminosäurekette eines Proteins wirken gewissermaßen als Adressetiketten und dirigieren ein Protein ins richtige Tröpfchen. Landet ein Protein im falschen Tröpfchen, kann dies Erkrankungen verursachen. Forschende unter anderem des Max-Planck-Instituts für molekulare Genetik haben Abschnitte

in Proteinmolekülen gefunden, die als Etiketten dienen. Zudem entdeckten sie, dass Mutationen im Gen für das Protein HMGB1 den Teil des Proteins verändert, der wie ein loses Gummiband aus dem Protein heraushängt. Das Protein wandert dann fälschlicherweise in ein Kondensat im Zellkern, verklumpt dort und kann seine Aufgabe nicht mehr erfüllen. Dies verursacht das BPTA-Syndrom, eine seltene genetische Erkrankung, bei der es zu Fehlbildungen von Gliedmaßen und des Gehirns kommt.

[www.mpg.de/19842527](http://www.mpg.de/19842527)

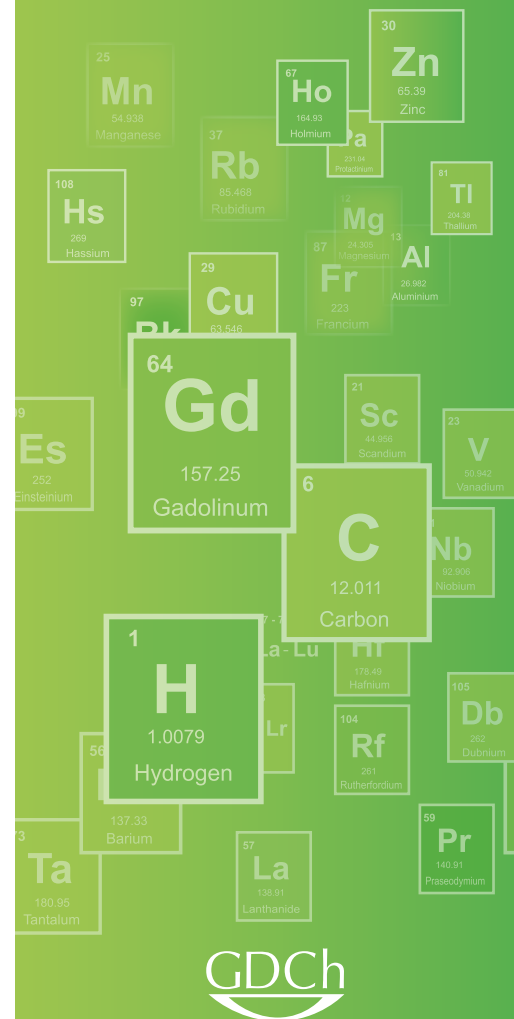
D A S  
K A R R I E R E  
P O R T A L

## 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 GDCh-Mentoringprogramm für chemische Nachwuchskräfte
- ➔ Publikationen rund um die Karriere
- ➔ Coachings und Workshops
- ➔ Jobbörsen und Vorträge
- ➔ Einkommensumfrage

ANZEIGE



GDCh

GESELLSCHAFT DEUTSCHER CHEMIKER

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

---

# ES GEHT UM DIE WURST

Für die Bekämpfung des Klimawandels müssen wir nicht nur die Verbrennung von Kohle, Öl und Gas stoppen. Auch in anderen Bereichen braucht es einen Wandel, etwa in der Ernährung: So schadet Fleischessen dem Klima ebenfalls. Und doch scheuen sich die meisten Politikerinnen und Politiker, hier einzugreifen. Die Juristin Saskia Stucki erklärt, warum Essensfragen ein Tabuthema sind und wie die Politik wirkungsvoll handeln könnte.

12

Die Fleischfrage – die Frage, ob, wie viel und welches Fleisch wir essen (wollen, sollen, dürfen) – gilt uns traditionell als Privatsache. Unsere Ernährung mag Ausdruck jeweiliger kulinarischer, kultureller, religiöser oder auch moralischer Prädispositionen sein, ist aber jedenfalls eine persönliche Entscheidung der Konsumentin. Die Idee einer politischen Intervention in diesen Bereich der Privatsphäre löst entsprechendes Unbehagen aus und handelt sich schnell den Vorwurf der staatlichen Überregulierung oder Übergriffigkeit ein. Ein anschauliches Beispiel dazu liefert die Veggie-Day-Kontroverse aus dem Jahr 2013, als der Vorschlag der Grünen, in öffentlichen Kantinen einen vegetarischen Tag einzuführen, Ängste vor einem „Fleischverbot“ schürte und einen regelrechten Shitstorm auslöste.

Die Intuition der Konsumfreiheit und darauf gründende Beißreflexe greifen allerdings zu kurz. Dies verdeutlicht bereits ein flüchtiger Blick auf die externalisierten Kosten unseres unbändigen Fleischkonsums, dessen schädliche Folgen für öffentliche Gesundheit, Tiere und Umwelt reichlich dokumentiert sind. So begünstigt die Nutztierhaltung globale Gesundheitsrisiken wie die Entstehung von zoonotischen Krankheiten und Antibiotikaresistenzen. Unser Fleischkonsum geht auch auf Kosten der 750 Millionen Tiere, die in Deutschland jährlich geschlachtet werden und von denen ein Großteil ihr Leben unter den trostlosen Bedingungen der industriellen Massentierhaltung fristet. Die Nutztierhaltung ist ferner einer der Haupttreiber der sich aktuell zuspitzenden ökologischen Krisen: Klimawandel, Biodiversitätsverlust, Regenwaldabholzung. Vor dem Hintergrund dieser gesundheitlichen, ökologischen und tierethischen Nebenwirkungen kann von einer rein persönlichen Entscheidung nicht (mehr) die Rede sein – die einst privat gedachte Fleischfrage ist politisch geworden.

→

# ZUR SACHE

---

SASKIA  
STUCKI

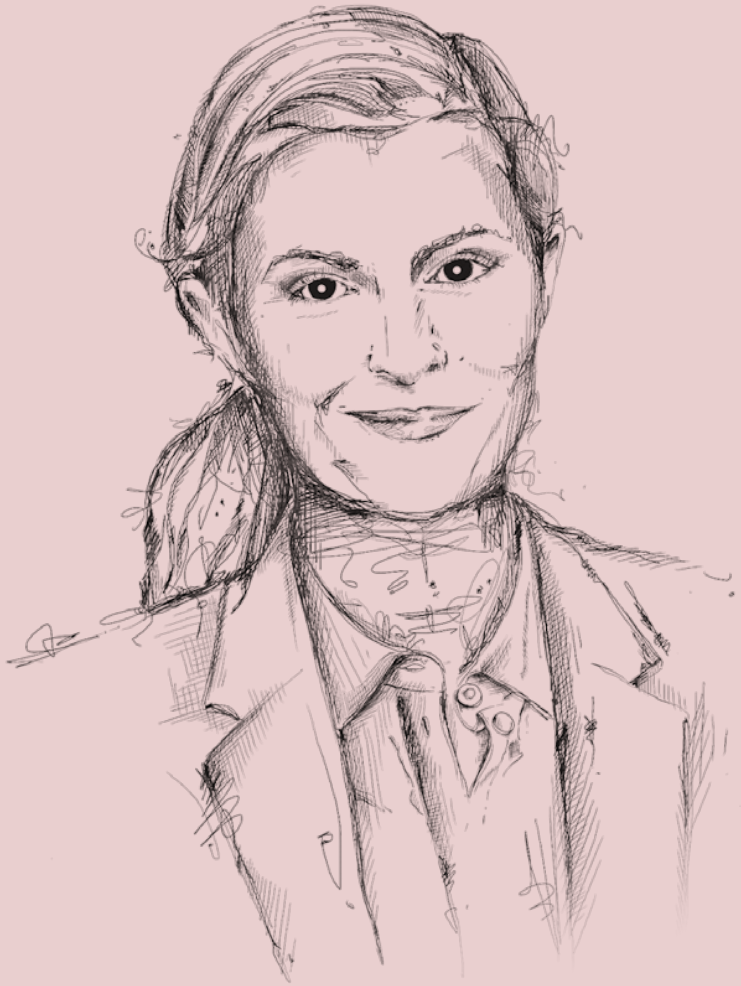


ILLUSTRATION: SOPHIE KETTERER FÜR MPG

13

Die Juristin ist seit 2016 Referentin am Max-Planck-Institut für ausländisches öffentliches Recht und Völkerrecht. Saskia Stucki studierte und promovierte an der Universität Basel, wo sie sich nun mit dem Projekt *Transformative Greenstreaming: Greening Non-Environmental Law* habilitiert. 2018/2019 war sie Gastwissenschaftlerin an der Harvard Law School. Ihre Forschungsschwerpunkte sind Umwelt- und Klimarecht, Food Governance, Tierrecht, Menschenrechte und Rechtstheorie.

## DIE KLIMA- POLITIK WIRD UM DIE FLEISCHFRAGE NICHT HERUM- KOMMEN

Die Klimakrise hat in besonderem Maße zur Politisierung von Fleisch beigetragen. Oberstes Ziel der Klimapolitik ist die Erreichung von Klimaneutralität bis 2045 in Deutschland und 2050 in der EU. Hierzu sind rapide und drastische Reduktionen der Treibhausgasemissionen in allen Sektoren erforderlich, so auch in der Landwirtschaft. Global betrachtet, verursacht das Ernährungssystem je nach Schätzung 21 bis 37 Prozent der anthropogenen Treibhausgasemissionen, wobei bis zu 80 Prozent davon auf die Tierproduktion entfallen. Um die landwirtschaftlichen Treibhausgasemissionen zu senken, scheint es folglich naheliegend, an deren Hauptquelle anzusetzen: der Fleischproduktion.

Die wissenschaftliche Fachliteratur ist sich weitgehend einig, dass die dringend gebotene *sustainable food transformation* eine massive Reduktion des Tierkonsums erfordert, zumal die Emissionsintensität von Tierprodukten jene pflanzlicher Nahrungsmittel durchgehend (und insbesondere bei Rindfleisch und Milch aufgrund des Methanausstoßes von Wiederkäuern um ein Vielfaches) übersteigt und die Tierlandwirtschaft auch hinsichtlich ihres hohen Flächen- und Ressourcenverbrauchs zunehmend als ineffizient bewertet wird. Eine gesellschaftliche Ernährungsumstellung würde dabei ein zweifaches Potenzial für den Klimaschutz in sich bergen. Zum einen liegt in einer primär pflanzenbasierten Ernährung mit Abstand das größte Potenzial, die direkten landwirtschaftlichen Treibhausgasemissionen zu reduzieren. Zum anderen kann sie auch indirekt wirken, indem die nicht mehr für Futtermittelanbau und Weideland genutzte Landfläche renaturiert werden und als natürliche Kohlenstoffsenke dienen kann.

Die Klimawende wird ohne Ernährungswende nicht gelingen – insofern kommt die Klimapolitik um die Fleischfrage nicht herum. Derzeit befindet sich die Fleischfrage allerdings noch in einem ambivalenten Schwebestadium zwischen Politisierung und politischer Marginalisierung. Das sogenannte Fleischparadoxon beschreibt in der Sozialpsychologie eine kognitive Dissonanz zwischen dem Wissen um die Schäden des Fleischkonsums und entgegengesetztem Handeln. Dieser Widerspruch offenbart sich auch in unserem paradoxen kollektiven Umgang mit der Fleischfrage. Obschon uns die massiven Probleme für Menschen, Tiere und Umwelt sowie die Notwendigkeit einer konsequenten Fleischreduktion durchaus bewusst sind, finden sich bisher kaum entsprechende staatliche Maßnahmen, die auf einen Abbau der Tierproduktion ausgelegt sind – im Gegenteil: Wir erhalten und fördern diese.

So zielt einerseits etwa die „Farm to Fork Strategy“ der EU – ein Herzstück des „European Green Deal“ – auf eine umfassende Transformation des Ernährungssystems ab und unterstreicht dabei die Bedeutung einer mehrheitlich pflanzlichen Ernährung für Gesundheit und Nachhaltigkeit. Auch die vom Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft entwickelten Klimaschutzmaßnahmen in der Landwirtschaft nennen als einen

von zehn Schwerpunkten die Förderung nachhaltiger Ernährungsweisen. Andererseits koexistieren und konkurrieren solche Zielsetzungen mit weitaus wirkmächtigeren Strukturen, die in eine gegenläufige Richtung zeigen. So bleibt die Tierindustrie im Vergleich zu anderen Sektoren hinsichtlich ihrer ökologischen Kosten unterreguliert. Zugleich ist sie neben der Ölindustrie die größte Leistungsempfängerin umweltschädlicher Subventionen. In Deutschland reichen die Schätzungen von fünf Milliarden Euro (allein durch Mehrwertsteuerbegünstigung für Tierprodukte) bis dreizehn Milliarden Euro pro Jahr. Solche klimaschädlichen Subventionen konterkarieren die Klimaziele, wie auch der Bundesrechnungshof 2022 in seinem Bericht zur Steuerung des Klimaschutzes in Deutschland feststellte.

Grundsätzlich besteht Einigkeit darüber, dass die zur Erreichung der Klimaziele erforderliche Ernährungswende politisch und rechtlich eingeraht und gefördert werden muss. Das bisherige Versäumnis des Staates gilt es nun durch die Entwicklung und Umsetzung einer kohärenten Fleisch(reduktions)politik nachzuholen. Gemeint ist damit mitnichten ein plumpes – das gefürchtete – Fleischverbot. Vielmehr steht dem Staat ein weitaus raffinierteres Instrumentarium zur Verfügung, um eine transformative (auf die Ernährungswende ausgerichtete) Fleischpolitik auf milder Weise zu implementieren. Dieses umspannt einen Mix aus sanften und harten – von freiwilligen, marktpolitischen bis zu regulatorischen und prohibitiven – Maßnahmen.

15

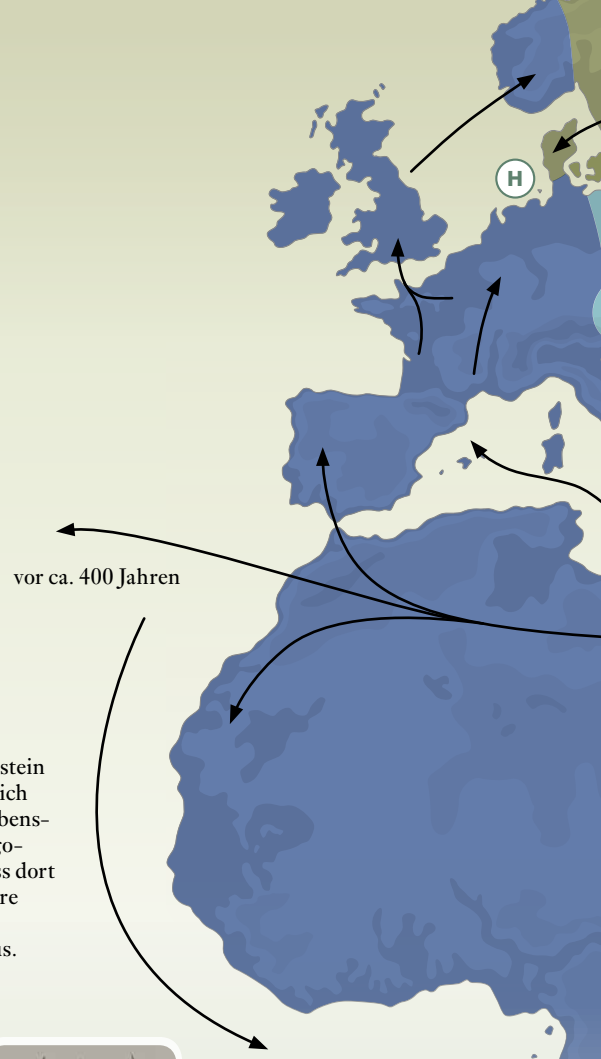
## DER STAAT KANN DEN INDIVIDUELLEN KONSUM HIN ZU MEHR NACH- HALTIGKEIT LENKEN

So kann der Staat individuelle Konsumentenscheide in vielfältiger Hinsicht hin zu mehr Nachhaltigkeit lenken, etwa durch Informationskampagnen, Ernährungsempfehlungen, Nachhaltigkeitslabels oder durch *green nudges*. Stärker dürften allerdings fiskalische Maßnahmen wirken, so namentlich eine Neuausrichtung der Agrarsubventionen weg von der Tier- hin zur Pflanzenproduktion. Zur Herstellung von Kostenwahrheit durch Internalisierung der ökologischen Kosten in die Marktpreise bietet sich ferner die Einführung einer Umweltabgabe auf Tierprodukte (Fleischsteuer) an. Auch das öffentliche Beschaffungswesen – etwa in Behördenkantinen, Mensen, Klinikküchen – kann verstärkt auf nachhaltige Ernährung ausgelegt werden. So hat die Stadt Freiburg vor Kurzem beschlossen, in Kitas und Grundschulen nur noch ein vegetarisches Einheitsmenü anzubieten. Denkbar ist ferner ein Werbeverbot für Fleisch, wie kürzlich in der niederländischen Stadt Haarlem angekündigt. Als große Hoffnungsträger gelten schließlich pflanzliche Proteine – als klimafreundliche Alternative zu herkömmlichen Tierprodukten oder In-vitro-Fleisch –, deren (Weiter-)Entwicklung durch staatliche Investitionen und den Abbau regulatorischer Hindernisse gezielt gefördert werden kann. Mit den richtigen politischen und rechtlichen Rahmenbedingungen könnte Europa gemäß Marktprognosen schon im Jahr 2025 „Peak Meat“ erreichen: den Punkt, von welchem an der Konsum von Tierprodukten rückläufig wird – natürlich unter Wahrung der individuellen Konsumhoheit.



# DIE EVOLUTION DER HAUSMAUS

Der Ursprung der Hausmaus liegt im heutigen Iran. Dort hat sie sich in mehrere Unterarten aufgespalten, von denen sich drei über den gesamten Globus ausgebreitet haben. Die Östliche Hausmaus (*Mus musculus musculus*) und die Asiatische Hausmaus (*Mus musculus castaneus*) begannen ihre Ausbreitung in das nördliche und südliche Asien vor rund 9000 Jahren, die Westliche Hausmaus (*Mus musculus domesticus*) machte sich vor etwa 6000 Jahren auf den Weg und erreichte Westeuropa vor 3000 Jahren. In den letzten Jahrhunderten ist die Hausmaus auf Schiffen von Europa nach Amerika, in das südliche Afrika sowie auf Inseln im Atlantik und Pazifik gekommen. Entlang der europäischen Klimascheide treffen die Verbreitungsgebiete der Westlichen und der Östlichen Hausmaus in einer Vermischungszone aufeinander.



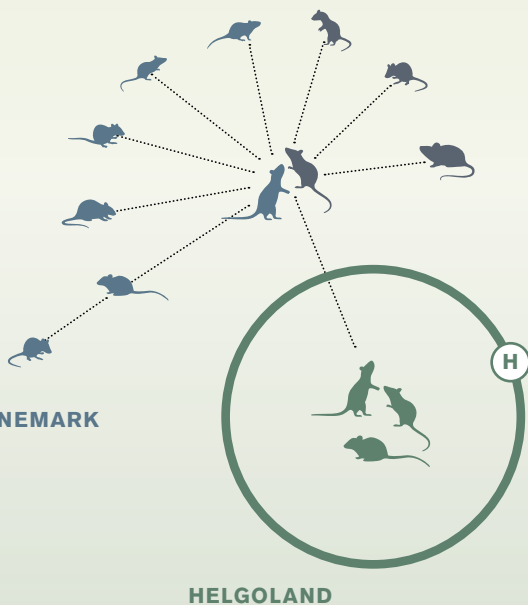
## SCHLESWIG-HOLSTEIN

## DIE HELGOLAND-MAUS

Die verschiedenen Hausmaus-Populationen in Schleswig-Holstein und Dänemark unterscheiden sich nur wenig voneinander. Die Lebensbedingungen auf der Insel Helgoland sind jedoch so speziell, dass dort innerhalb weniger Hundert Jahre eine neue Art entstanden ist: die sogenannte Helgoland-Maus.

16

DÄNEMARK



HELGOLAND

## MÄUSE MIT CHARAKTER

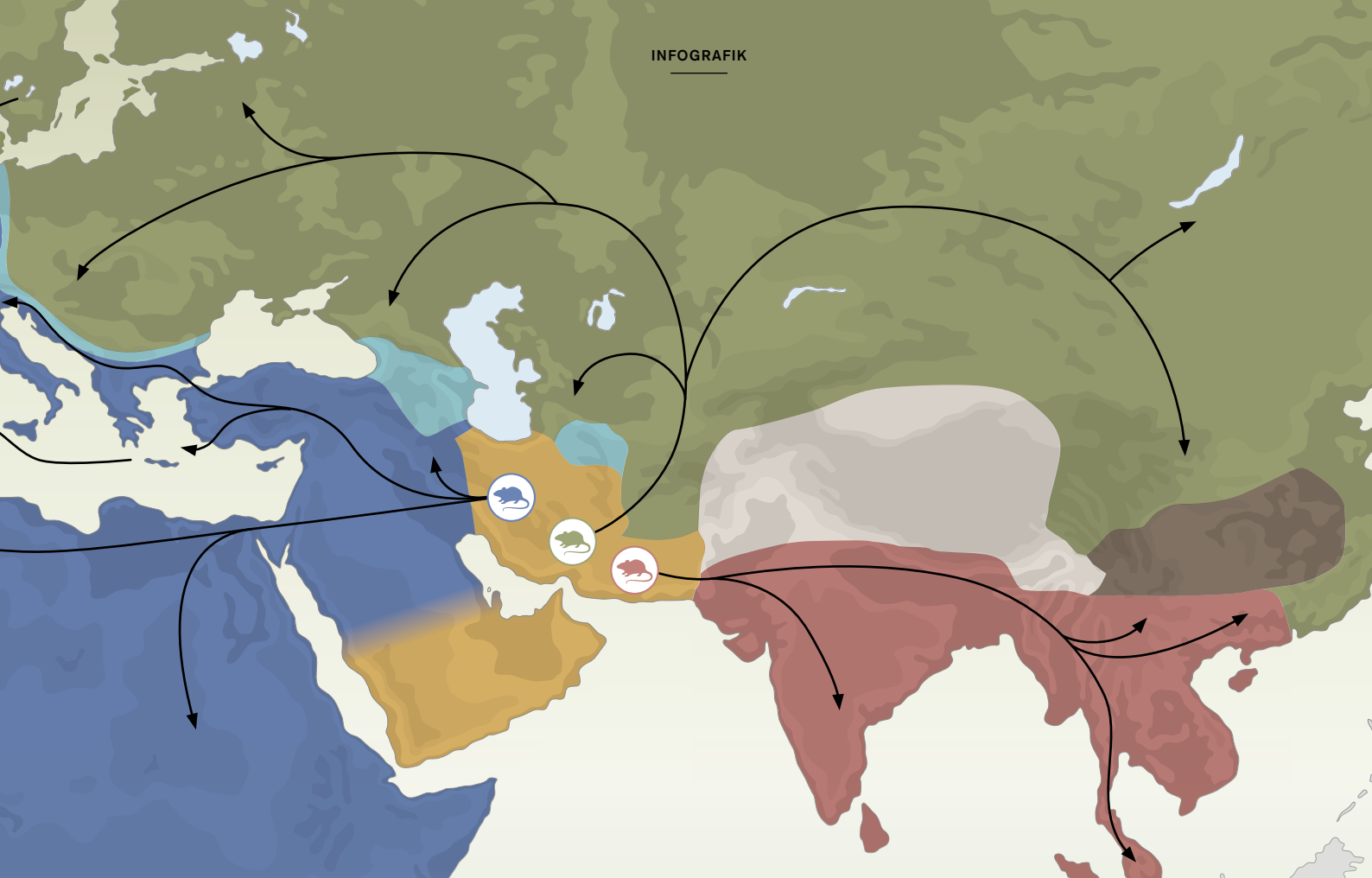
Mäuse besitzen individuelle Persönlichkeiten. Ähnlich wie bei den Menschen gibt es unter ihnen mutige und ängstliche, ruhige und streitbare, scheue und neugierige Individuen.

## MÄUSESPRACHE

Mäuse kommunizieren im Ultraschall mittels einer angeborenen „Sprache“ mit sehr komplexen Lautfolgen. Diese Laute unterscheiden sich zwischen den Unterarten. Weibchen sind besonders kommunikativ, wenn sie unter sich sind.







- 

Helgoland-Maus
- 

Westliche Hausmaus
- 

Östliche Hausmaus
- 

Vermischung von Westlicher und Östlicher Hausmaus
- 

Asiatische Hausmaus
- 

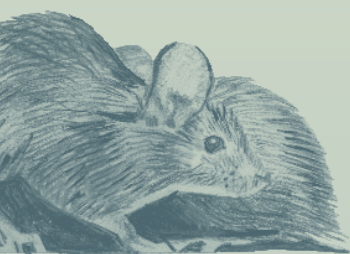
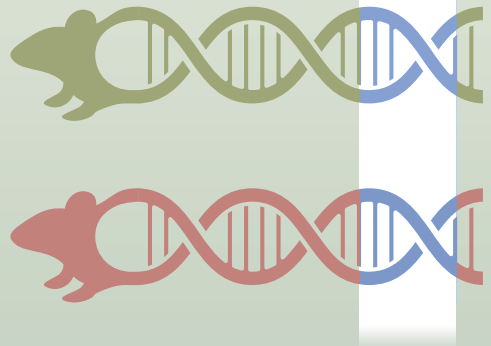
Verschiedene, teils noch unbekannte Unterarten
- 

Vermischung von Östlicher und Asiatischer Hausmaus
- 

Keine Hausmäuse

**FREMDE GENE IM ERBGUT**

Die Unterarten der Hausmaus haben sich durch die Anpassung an unterschiedliche Umweltbedingungen genetisch auseinanderentwickelt. Aber ein Austausch adaptiver Genregionen findet immer noch statt.



# IM FOKUS

---

## ZUR SICHERHEIT

- 18 | Vom Funken zum Feuer
- 24 | Schlupfloch im Programm
- 30 | Lebenslang

ILLUSTRATION: ALESSANDRO GOTTARDO



Brandstiftung per Social Media: Extremistische Narrative in Postings und Foren schüren physische Gewalt gegenüber Einzelnen, Gruppen oder dem Staat.

# VOM FUNKEN ZUM FEUER

TEXT: MICHAELA HUTTERER

Ob gestürmte Parlamente oder rassistische Anschläge in den USA ebenso wie in Deutschland: Politisch motivierte Gewalt nimmt zu. Meistens scheinen die Aktionen ohne Zusammenhang zu sein und nur von Einzeltätern auszugehen. Doch Forschende erkennen darin durchaus terroristische Muster. James Angove befasst sich am Max-Planck-Institut zur Erforschung von Kriminalität, Sicherheit und Recht mit der Frage, wie „Zufallsterror“ entsteht und was man dagegen tun kann.



Angriff mit Ansage: Der Sturm von Anhängern des abgewählten US-Präsidenten Donald Trump auf das US-Kapitol am 6. Januar 2021 war alles andere als spontan und zufällig. Bereits im Dezember hatte Trump zu Protesten an diesem Tag aufgerufen, in seiner Rede am 6. Januar schickte er die Anwesenden dann geradewegs zum Kapitol.

„Stop the steal“, skandiert eine wütende Menge, als sie sich am 6. Januar 2021 gegen 12:45 Uhr auf den Weg zum Kapitol in Washington, D. C., macht. Gleich beginnt im Senat und im Repräsentantenhaus die offizielle Auszählung der Stimmen, die Joe Biden als neuen US-Präsidenten bestätigen wird. Zuvor hat Wahlverlierer Trump über eine Stunde gegen Demokraten und schwache Republikaner gewettert, das einprägsame Narrativ der gestohlenen Wahl bedient. Er hat seinen Vize Mike Pence ermahnt, im Senat „das Richtige zu tun“, und seine Getreuen aufgefordert, den „schwachen Republikanern ... den Stolz und den Mut zu geben, die sie brauchen, um unser Land zurückzuerobern“. Gegen Ende schickt er seine Fans über die Pennsylvania Avenue zum Kapitol, er selbst fährt zurück ins Weiße Haus. Stunden später mahnt er via Twitter, „friedlich zu bleiben“. Da haben seine Anhänger bereits zwei Stunden lang mit Sicherheits-

beamten gerungen, Barrikaden gestürmt, Scheiben eingeschlagen und sich grölend ihren Weg durch das Gebäude gebahnt: „This house is ours“, rufen sie und filmen sich dabei. „Stop the steal.“

„Wenn es zu politischer Gewalt kommt, ist es oft verlockend, mit dem Finger auf diejenigen zu zeigen, die die Gewalttat begangen haben“, erklärt James Angove, Senior Researcher am Max-Planck-Institut zur Erforschung von Kriminalität, Sicherheit und Recht in Freiburg. „Bei näherer Betrachtung erweist sich das Phänomen moderner politischer Gewalt heutzutage jedoch als äußerst komplex.“ Angove ist promovierter Philosoph. Am Max-Planck-Institut befasst er sich mit den philosophischen und sicherheitspolitischen Aspekten von Terror. Wodurch lassen sich Menschen zu Gewalttaten gegen Minderheiten, Andersdenkende oder staatliche Institutionen aufstacheln? Ist es eine



FOTO: REUTERS / JIM URQUHART

charismatische Führungsfigur, die auf ihre Anhänger hypnotisch wirkt? Oder liegt es an ihrer Rhetorik, die nur vage und indirekt, gleich einer Hundepfeife, zur Gewalttat aufruft und dadurch unter der Schwelle zur strafbaren Anstiftung bleibt?

„Wir beobachten weltweit einen Anstieg politischer Gewalt, die durch diese Indirektheit gekennzeichnet ist“, erklärt James Angove. Statistisch lassen sich diese Gewalttaten vorhersagen, konkret jedoch nicht. Die Taten erscheinen zufällig, zusammenhanglos, ohne erkennbare Vernetzung oder Gruppenidentität. Dennoch ist ein Muster zu sehen, das in Fachkreisen als *stochastic terrorism* diskutiert wird, als zufälliger Terror. Hinter diesem Begriff verbirgt sich die terroristische Strategie, durch extremistische Narrative unter Verwendung von Lügen, Verschwörungstheorien und Hatespeech in Medien und Foren physische Gewalt gegenüber Einzelnen, Gruppen oder dem Staat selbst zu entfachen.

Dass Donald Trump den „Sturm auf das Kapitol“ vor zwei Jahren mit seiner Rede befeuert hatte, steht außer Frage. Auf 845 Seiten sammelte der parlamentarische Untersuchungsausschuss des US-Repräsentantenhauses Hinweise für Trumps Zutun und empfahl dem Justizminister als oberstem Staatsanwalt, gegen den Ex-Präsidenten wegen mehrfacher Verschwörung und Anstiftung zum gewaltsamen Aufruhr in einem Präzedenzfall zu ermitteln. Ob es zur Anklage oder gar Verurteilung kommt, ist unklar. „Stürmt das Kapitol“, hatte Trump wohlweislich nicht gerufen und jede geistige Urheberschaft stets verneint. Daher sammelten die Ausschussmitglieder mehr als tausend Zeugenaussagen und Hinweise, die Trumps Rolle am Tag und im Vorfeld der Ereignisse des 6. Januar beleuchten. Welche juristische Verantwortung trägt Trump? Ist er ebenso Täter wie die mehr als 800 einzelnen Kapitol-Stürmer, gegen die laut Medienberichten bislang ermittelt wurde? Muss der Ex-Präsident sich die Gewalt zurechnen lassen?

## Gleichgesinnte finden sich in Internetforen

Darin zeigt sich für Experten gerade das Muster von *stochastic terrorism*: Vermeintlich Einzelne richten ihre Gewalt gegen das staatliche System, seine Repräsentanten oder Institutionen oder gegen Menschen bestimmter Hautfarbe, Herkunft, Religion, sexueller Neigung oder politischer Einstellung – spontan, isoliert und ohne Verbindung zu Terrorgruppen. „In der Terrorismusforschung hielt sich lange die Idee des sozial isolierten Einzeltäters, der keiner politischen Gruppe zugehörig scheint“, berichtet Angove. Doch mittlerweile weisen unter anderem die Erkenntnisse einer Arbeitsgruppe am Max-Planck-Institut für ethnologische Forschung in Halle zur Entwicklung von Terrorgruppen in eine andere Richtung: Demnach formiert sich rechte Gewalt nicht nur in Gemeinschaften mit starker persönlicher Bindung, so beispielsweise in der traditionellen Neonazi-Szene oder im Milieu der Reichsbürger, sondern auch in einer Internet-subkultur. Dort tauschen sich Gleichgesinnte primär online in anonymen Foren und Messengerdiensten aus, sagt Michael Fürstenberg, Politologe und Mitarbeiter der Forschungsgruppe.

Als Mitte Mai 2022 ein Achtzehnjähriger im amerikanischen Buffalo vor und in einem Supermarkt zehn Menschen erschoss und drei verletzte, streamte er seine Tat mindestens zwei Minuten, ehe ihn der Streamingdienst stoppte. Die Ermittler gehen von einem rassistischen Motiv des Beschuldigten aus – elf der dreizehn Opfer waren Afroamerikaner. Im Internet bezog sich der Täter auf rechte Verschwörungstheorien und Vorgängertaten. US-Präsident Joe Biden verurteilte die



„Tat, die im Namen der abstoßenden Ideologie des weißen Nationalismus verübt werde“. Dieser *white supremacist terror* beruht vor allem auf einem Narrativ: *the great replacement* oder *white replacement* (der große oder weiße Austausch). Darunter verstehen Anhänger rechter Ideologien den „gezielten Austausch“ von „weißen“ Amerikanern und Europäern durch Einwanderer. Zu lesen sind auch die Begriffe „Umvolkung“ oder „Personalwechsel“. Medienberichten zufolge war der Attentäter von Buffalo ein Fan von Fox News, dessen Moderator Tucker Carlson vor dem Attentat mehr als 400-mal von „Austauschtheorien“ gesprochen haben soll. Auch der Attentäter, der 2019 im neuseeländischen Christchurch 51 Menschen tötete, berief sich auf diese rechte Doktrin, ebenso die Attentäter von El Paso (2019), Pittsburgh (2018) und zuvor der Attentäter im norwegischen Utøya (2011).

Diese zutiefst rassistische Doktrin ist Experten zufolge nicht neu und prägte in den vergangenen 150 Jahren vielfach die US-amerikanische Einwanderungspolitik. Ideologische und pseudowissenschaftliche Texte dienten dabei oftmals als Rechtfertigung gesellschaftlicher Ressentiments und diskriminierender Politik, so etwa Madison Grants Buch *The Passing of the Great Race* (1916), das Roosevelts Politik beeinflusst haben soll und in F. Scott Fitzgeralds Gesellschaftsroman *The Great Gatsby* zum Tischgespräch taugte.

Laut einer Umfrage von AP Research vom Mai 2022 glaubt ein Drittel der befragten Amerikaner an „die Gefahr des großen Austauschs“. Das FBI sieht Inlandterrorismus als eine der Hauptgefahren für die Zukunft an. Anschläge wie der von Buffalo werden etwa zu dieser Form von Terrorismus gezählt. Insgesamt ermittelte das FBI 2019 in 850 Fällen von *domestic terrorism*. Dabei ist weiß-populistischer Hass bei Weitem kein rein US-amerikanisches Problem. 1973 verfasste der Franzose Jean Raspail mit *Le Camp des Saints* ein Kultbuch der neuen Rechten, zur selben Zeit, als Jean-Marie Le Pen den Front National gründete. 2011 bediente Renaud Camus mit seinem Buch *Le Grand Remplacement* erneut die Angst vor Zuwanderung. Vergangenen August sprach Ungarns Ministerpräsident Viktor Orbán auf dem jährlichen Sommercamp seiner rechtspopulistischen Fidesz-Partei über die Gefahr des „Austauschs durch Migration“ und „einer gemischtrassigen Welt ... Man sollte das Phänomen als ein weltweites betrachten – nicht zuletzt, weil ein geeigneter ‚Influencer‘ von überall agieren und

senden kann, um diese politische Gewalt zu entfachen“, erklärt James Angove. „Technologische Mittel und kulturelle Trends ermöglichen diese Form von Gewalt auch in Großbritannien und in Deutschland – oder in Brasilien, wie man im Januar nach Jair Bolsonaros Abwahl beobachten konnte.“

Doch warum kann sich extremistischer Hass so stark ausbreiten? Eine Studie des Max-Planck-Instituts für Bildungsforschung ergab, dass digitale Medien vor allem in etablierten Demokratien wie in Europa und den USA Polarisierung und Populismus befeuern und somit destabilisierend wirken. Besonders das Vertrauen in Politik und in demokratische Institutionen wie Parlamente wird demzufolge nachweislich beschädigt. Auch das Vertrauen in die klassischen Medien sinkt. Fatal: Damit steigt auch die Unwissenheit. Schließlich beziehen viele Social-Media-Nutzer ihre Informationen nach dem Motto „News find me“: Sie informieren sich nicht mehr aktiv über mehrere Quellen, sondern erwarten, dass wichtige Nachrichten sie über ihr Netzwerk und ausgeklügelte Algorithmen erreichen. Das fördert den Austausch unter Gleichgesinnten in der eigenen „Echokammer“, in der Folge steigt dann die Gefahr von Radikalisierung, und die Hemmschwelle für offen artikulierten Hass sinkt.

In dieser Gemengelage gedeihen Gewaltakte, die zufällig wirken, aber terroristische Merkmale haben. Gemäß den Untersuchungen der Terrorismus-Arbeitsgruppe am Max-Planck-Institut für ethnologische Forschung meh-

ren sich international Anzeichen einer bevorstehenden Welle rechten Terrors. Die Forschenden gehen dabei von einem Modell des US-amerikanischen Politologen David Rapoport aus: Demzufolge hat sich der Terrorismus seit 1880 in vier einander überlappenden Terrorwellen entwickelt, die jeweils rund dreißig bis vierzig Jahre andauerten. Auf die anarchistische Welle (bis in die 1920er-Jahre) folgte eine antikoniale Welle, welche von den 1920er- bis in die 1960er-Jahre reichte. Auf die Welle der Neuen Linken (1960 bis 1990) folgte ab 1980 die aktuelle, religiös motivierte Welle islamistischen Terrors. Diese dürfte sich allmählich abschwächen, und eine neue Ära könnte beginnen. „Das Erstarken antiliberaler und rechtsextremer Kräfte ist ein Trend, der sich mit dem Aufstieg von Populisten wie Viktor Orbán und Donald Trump bereits abzeichnete und sich in den jüngsten Attentaten von Christchurch, Halle und Hanau bestätigt“, schrieb im Jahr 2020 die Leiterin der Gruppe, Carolin Görzig, in einem Gastbeitrag in der *Frankfurter Allgemeinen Zeitung*.

## AUF DEN PUNKT GEBRACHT

Die Strategie hinter *stochastic terrorism* ist es, durch meist rechtsextremistische Narrative physische Gewalt gegenüber Einzelnen, Gruppen oder dem Staat selbst zu entfachen.

Die sozialen Netzwerke und eine zunehmend sensationsorientierte Berichterstattung in den klassischen Medien begünstigen die Verbreitung der Taten und der Ideologie, die dahintersteht.

Die Forschung empfiehlt, die Demokratie zu stärken, für Verständigung zwischen verfeindeten Lagern zu sorgen und die Resilienz der Menschen gegen Hetze im Netz zu fördern.

Wie auf eine solche Welle unvorhersehbaren Terrors reagieren? „Es gibt mehrere Möglichkeiten“, sagt James Angove. Die schlechteste sei eine vorschnelle Verschärfung von Gesetzen, wie die angstgetriebenen Antiterrorgesetze in den USA nach den Anschlägen von 9/11 zeigten, welche die Islamfeindlichkeit verstärkten und damit wiederum die Spirale der Gewalt beförderten. „Stochastischer Terrorismus ist ein Ausdruck autoritärer Gewalt innerhalb einer Demokratie“, erkennt Angove. Dagegen helfe vor allem, die Demokratie zu stärken und das, wofür wir sie schätzen. Dazu zählt in erster Linie die Bedeutung von Wahrheit im politischen Diskurs. „Stochastische Gewalt ist eine Folge der Krise der Wahrheit, der Vernunft und der öffentlichen Abwägung“, erklärt James Angove. In Reden werden Zielpersonen verleumdet, entmenschlicht und oft als Bedrohung für die Sicherheit der Zuhörenden dargestellt; Verschwörungstheorien können dazu beitragen, diese Bedrohung zu verstärken oder zu charakterisieren.

## Die Berichterstattung wird zum Brandbeschleuniger

„Daneben nutzen Regierungen seit jeher eine Art moralische Panik oder Angst vor ‚Volksfeinden‘, um autoritäre Entscheidungen zu rechtfertigen“, sagt Angove. Um etwa strengere Gesetze im eigenen Land durchzusetzen, kreierte laut einer Studie des britischen Soziologen Stuart Hall die britische Regierung Anfang der 1970er ein vermeintlich neues Feindbild des „jungen schwarzen Straßenräubers“, den die Bevölkerung dank Medienberichten als neue und wachsende Bedrohung einordnete. Obwohl die Gesetze bereits Strafen für Straßen-

räuber vorsahen, erzielte die Regierung so einen breiten gesellschaftlichen Konsens für deren Verschärfung. Diesen Mechanismus nutzen auch radikale Rädelsführer, indem sie ideologische Feindbilder schaffen und durch konsequente Dämonisierung bis hin zur Entmenschlichung die Hemmschwelle für Gewalt senken.

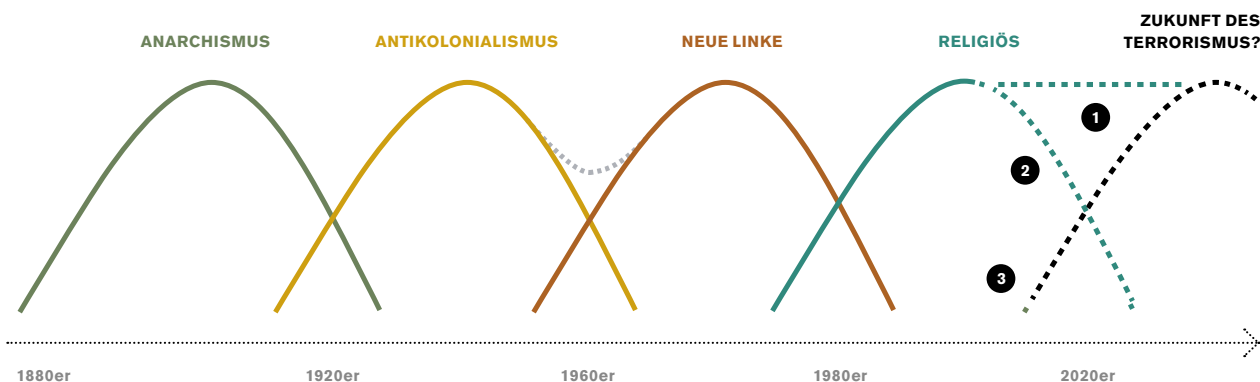
Angove sieht große Bedeutung im verstärkten sachlichen Austausch zwischen verfeindeten Lagern, damit Verschwörungstheorien weniger Publikum finden, Volksverhetzer demaskiert werden und rhetorische Auswüchse politischer Persönlichkeiten im Internet auf stärkere öffentliche Kritik stoßen. Dafür müsse jede und jeder Einzelne einstehen ebenso wie die Medien. Gerade diese sollten sich nicht zu Handlangern rechter Attentäter machen, indem sie unkritisch, unsensibel oder sensationsorientiert berichten. Täter suchen Aufmerksamkeit für ihre Taten und ihre Person, indem sie ihr Vorgehen filmen und Spuren hinterlassen. Wenn Medien Filmausschnitte und Täter zeigen oder gar wirre Gedanken zur Tat zu einem politischen „Manifest“ erhöhen, agieren sie – bewusst oder unbewusst – genau so, wie es der Täter erhofft hat: Ein Bericht in der Tagesschau oder zumindest in den Onlinenachrichten verspricht Ruhm für die Ewigkeit. Die Berichterstattung wird zum Brandbeschleuniger.

Gleichzeitig müssen Bürgerinnen und Bürger selbst resistent gegen Hetze im Netz und Demokratiefeindlichkeit werden. Dazu leistet die Wissenschaft einen wichtigen Beitrag. Sie legt Muster offen, erkennt Zusammenhänge und sucht Lösungen für Politik und Gesellschaft, die eine wirksame Alternative aufzeigen zu überhasteten restriktiven Maßnahmen wie der Einschränkung von Freiheitsrechten.

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

Auf und Ab der Gewalt: Der Terrorismus hat sich laut dem Politologen David Rapoport in einem Rhythmus von rund 40 Jahren wellenförmig entwickelt. Die Terrorismus-Forschungsgruppe in Halle sieht Anzeichen für eine bevorstehende Welle rechter Gewalt.

- ❶ Fortdauer/Erneuerung der religiösen Welle
  - ❷ Abschwellen der religiösen Welle
  - ❸ Neue Welle (Rechtsextremismus?)
- Wellenübergreifende Organisationen (z.B. IRA, PLO)



Eintrittspforte für  
Cyberkriminelle:  
Software weist meist  
Sicherheitslücken auf.  
Das automatisierte  
Prüfverfahren eines  
Max-Planck-Teams  
klopft Programme  
effektiv und effizient  
darauf ab.





# SCHLUPFLOCH IM PROGRAMM

*TEXT:  
THOMAS BRANDSTETTER*

Angriffe auf Software verursachen nicht nur Schäden in Milliardenhöhe, sondern bedrohen auch die Privatsphäre von Nutzerinnen und Nutzern. Cyberkriminelle dringen dabei stets durch Sicherheitslücken in Programme ein. Marcel Böhme und sein Team am Max-Planck-Institut für Sicherheit und Privatsphäre sind angetreten, die Einfallstore für die Angreifer zu blockieren – und haben auch Unternehmen wie Google von ihrem Ansatz überzeugt.

Programmieren ist ein kreativer Prozess. Er beginnt mit der Idee des Programmierers, eine gewünschte Funktionalität umzusetzen, und endet mit einem funktionsfähigen Code. Doch was funktioniert, ist noch lange nicht sicher. Dabei steckt die Tücke oft im Detail, und sie kann sich als große Gefahr entpuppen. So basierte der Heartbleed-Fehler, durch den 2014 unter anderem Zugangsdaten zu zahlreichen Onlinediensten öffentlich wurden, auf einer Sicherheitslücke in einer Software mit einer sehr überschaubaren Aufgabe: Das kleine Programm hieß Heartbeat und löste das Problem, dass ein Browser beim Surfen im Internet oder beim Onlinebanking über eine gesicherte Verbindung manchmal noch verschlüsselte Daten sendete, obwohl die geschützte Verbindung längst abgebrochen war. Über Heartbeat kann der Browser beim Server nachfragen, ob die gesicherte Verbindung noch besteht. Zu diesem Zweck sendet die Software regelmäßig eine Zeichenkombination samt Angabe der Zeichenzahl an den Server und erwartet die gleiche Zeichenkombination als Antwort. Der Entwickler nahm natürlich an, dass der Browser immer die korrekte Zeichenzahl angibt. Anders als bei anderer Software üblich baute er allerdings keinen Mechanismus ein, um das zu überprüfen. Und diese Lücke nutzte der Angreifer aus; er manipulierte Heartbeat so, dass das Programm eine kurze Zeichenkette mit der maximalen Längenangabe verschickte. Als der Server die Zeichenzahl dann aus dem Speicher auslas, kopierte er wesentlich mehr Daten, darunter auch sensible Informationen, als die ursprüngliche Zeichenkombination umfasste – Fachleute sprechen in diesem Fall von Speicherkorruption.

So steht der Absicht des Programmierers, ein bestimmtes Problem zu lösen, allzu oft die Perspektive eines böswilligen Hackers gegenüber. Und der fragt sich, wie er den Code der Software für seine eigenen Zwecke nutzen kann. Berüchtigt sind auch die Angriffe von Cyberkriminellen, die sämtliche Dateien verschlüsseln, um für die Freigabe ein Lösegeld zu verlangen. Auf solche Ransomware-Angriffe ist der größte Teil des wirtschaftlichen Schadens durch Cyberkriminalität zurückzuführen. Dieser belief sich im Jahr 2021 dem Branchenverband Bitkom zufolge allein in Deutschland auf mehr als 220 Milliarden Euro.

Verschärft wird die Problematik der IT-Sicherheit noch dadurch, dass moderne Softwaresysteme nur selten von einer Person oder zumindest von einer einzigen Firma entwickelt werden. Stattdessen sind sie oft aus einer Vielzahl von Komponenten zusammengebaut,

die aus unterschiedlichen Quellen stammen. Und jede dieser Komponenten besteht ihrerseits wieder aus einzelnen kleinen Beiträgen unabhängiger Programmierer, die es mit der Sicherheit unterschiedlich genau nehmen.

„Es gibt sehr viele kleine Open-Source-Softwaresysteme, die von Menschen in ihrer Freizeit vielleicht einmal an einem Nachmittag entwickelt wurden, in den letzten zwanzig Jahren aber unheimlich kritisch und fundamental für unsere digitale Ökonomie geworden sind“, sagt Marcel Böhme, der am Max-Planck-Institut für Sicherheit und Privatsphäre die Gruppe für Software Security leitet. Außer den ursprünglichen Entwicklern selbst fühle sich jetzt aber niemand mehr verantwortlich für die Sicherheit all dieser Einzelkomponenten. Und auch die Entwickler selbst hätten nach so langer Zeit teilweise einfach keine Lust mehr, ihre Programme weiterzuentwickeln. Trotzdem bieten öffent-

lich verfügbare Softwareelemente gerade in puncto Sicherheit einige Vorteile, da viele Fachleute sie überprüfen können. Auch aus diesem Grund verwenden Unternehmen wie etwa Google Open-Source-Code. Um in der eigenen Software Sicherheitslücken aufzuspüren, arbeitet Google jetzt mit Böhme und seinem Team zusammen.

Die Crux der Softwaresicherheit ist, dass die Kette der Programmteile nur so gut geschützt ist wie ihr schwächstes Glied. Und das macht auch große, kommerzielle Systeme anfällig für Angriffe. Um das ganze System zu übernehmen, kann es für einen findigen Hacker genügen, eine einzige schlecht geschützte Komponente aufzuspüren. „Das liegt oftmals daran, dass dieser Aspekt zum Zeitpunkt der Entstehung des Programms noch nicht so wichtig war“, sagt Böhme. „Viele große Sicherheitslücken, die wir heutzutage in weltweit verbreiteten Systemen finden, lassen sich auf solche ‚kleinen‘ Sicherheitslücken zu-

rückführen.“ Die Speicherkorruption sei dabei besonders kritisch. Sie lässt sich nicht nur ausnutzen, um – wie im Fall von Heartbleed – Daten auszuspäionieren und zu klauen, sondern auch, um Befehle in ein Programm einzuschmuggeln, mit denen ein Angreifer im schlimmsten Fall die Kontrolle über den Rechner übernehmen kann. Denn so wie sich mehr aus einem Speicher auslesen lässt als vorgegeben, lässt sich auch mehr in ihn hineinschreiben, als von einem Programm vorgesehen ist – wenn die Software nicht so programmiert ist, dass sie die Vorgaben für die angeforderte oder übertragene Datenmenge überprüft. Um derartige Probleme im Programmcode aufzudecken, wer-

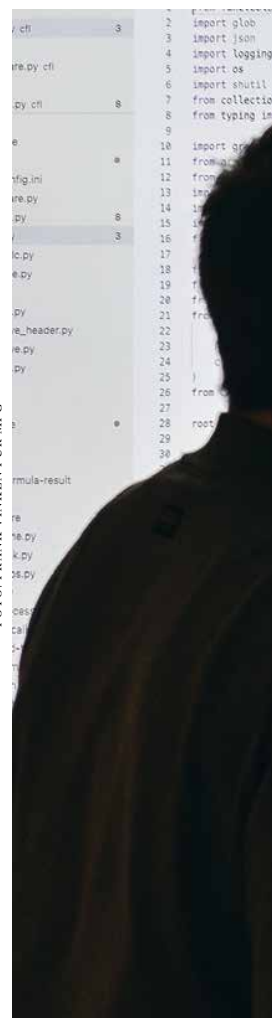
## AUF DEN PUNKT GEBRACHT

Softwareentwickler müssen darauf achten, dass Programme nicht angreifbar sind. Doch Software, die nicht auf Sicherheitslücken überprüft wird, weist häufig kritische Fehler auf.

Forschende des Max-Planck-Instituts für Sicherheit und Privatsphäre haben die automatisierte Suche nach Sicherheitslücken durch das Greybox Fuzzing erheblich beschleunigt.

Unternehmen wie Google, Bosch oder Oracle Labs nutzen die Methode bereits und entdecken dabei immer wieder neue Fehler.

FOTO: FRANK VINKEN FÜR MPG





Viele Augen: Je mehr Menschen Programme prüfen, desto eher werden sicherheitsrelevante Fehler entdeckt – vor allem wenn es Fachleute sind wie in Marcel Böhmes Team, die prüfen. Automatisierte Tests beschleunigen die Suche jedoch.

## „Das Greybox Fuzzing vereint das Beste aus zwei Welten.“

MARCEL BÖHME

den aktuelle Systeme, auch während sie sich bereits im Einsatz befinden, über Wochen, Monate und teilweise auch Jahre hinweg aufwendig auf kritische Lücken getestet – und gegebenenfalls durch den Softwarenotdienst der Sicherheitsupdates repariert. Das gilt auch für Software, die viele Menschen zu Hause nutzen. Würde sich bei Google Chrome etwa eine Sicherheitslücke auftun, über die Malware verbreitet werden kann, wären weltweit unzählige Nutzerinnen und Nutzer betroffen, die etwa zu Opfern von Ransomware-Attaken werden könnten. „Es könnten aber auch beispielsweise

persönliche Daten, Passwörter oder das Browserverhalten gestohlen werden“, warnt Böhme. „Die Wahrscheinlichkeit, dass das bei Google Chrome passiert, ist glücklicherweise sehr klein“, meint er. „Schließlich hat Google viele Möglichkeiten, seine Systeme zu schützen.“

Um die gefährlichen Mängel in einem Programm zu finden, gibt es eine Reihe von Ansätzen. Im einfachsten Fall sehen sich Menschen die Software genau an und suchen nach Fehlern. „Aber Maschinen, die das automatisch machen, erhöhen die Erfolgchancen“, sagt Böhme. Bei den automatischen Verfahren wiederum wird zwischen statischer Analyse und dem sogenannten Fuzzing unterschieden. Statische Analyseverfahren untersuchen zunächst den Code eines Programms und erstellen daraus ein Modell, das sein Verhalten beschreibt. Marcel Böhme erklärt das in einem Vergleich mit der Biologie. In einem Zweig dieser Disziplin bauen Bioinformatiker etwa eine Zelle am Computer nach und simulieren so das Zusammenspiel von deren verschiedenen Komponenten nach den biologischen Regeln. „Ähnlich kann

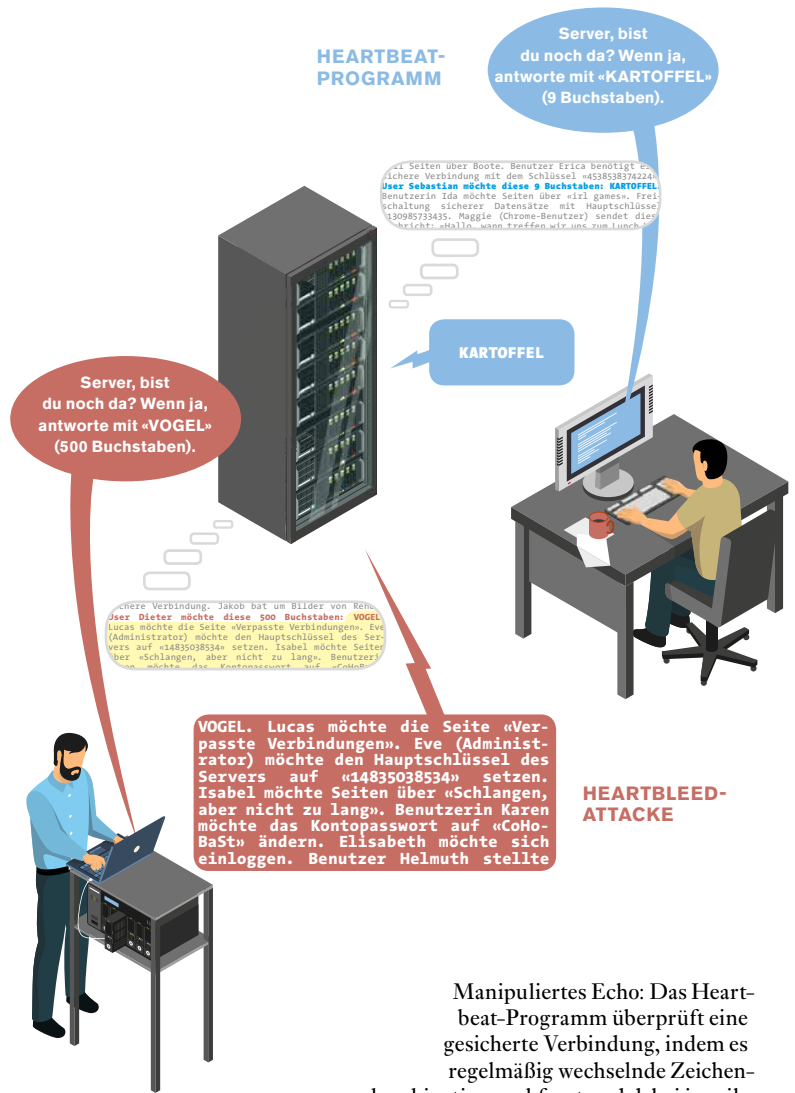


man ein Modell eines Programms erstellen“, erklärt Böhme. „Dabei simuliert man sein Verhalten aufgrund der syntaktischen und semantischen Regeln, nach denen Software geschrieben wird.“ Auf Basis dieses Modells wird dann versucht, alle erdenklichen Eingaben vorauszusehen und letztlich zu beweisen, dass keine davon zu einem kritischen Fehler führen kann. Wie bei der Zelle im Computer fehlt jedoch auch beim Modell eines Programms die reale Umwelt – bei einem Programm sind das alle anderen Programme, mit denen das getestete Programm kommuniziert.

## Systematische Zufallseingaben

Beim Fuzzing, dem sich Böhme und sein Team verschrieben haben, wird das Programm dagegen unter realen Bedingungen ausgeführt und mit möglichst vielen, zufällig generierten Eingaben konfrontiert. „Fuzzer simulieren quasi einen Nutzer, der nicht das macht, was sich der Programmierer vorgestellt hat“, erläutert Böhme. In der reinsten Form, dem Blackbox Fuzzing, kommt den Zusammenhängen im Code des untersuchten Programms keinerlei Bedeutung zu, und Fehler werden ausschließlich durch zufällige Eingaben entdeckt. Allerdings testet der Blackbox Fuzzer Programmteile, die auch bei der Nutzung häufig ausgeführt werden, wesentlich öfter als nötig, was nicht sehr effizient ist. Aber schlimmer noch: Selten gefragte Programmteile testet auch die Blackbox kaum oder im schlimmsten Fall gar nicht, sodass Sicherheitslücken darin unentdeckt bleiben. Das Problem lässt sich mit dem Whitebox Fuzzing lösen: Dabei wird zusätzlich auch der Code analysiert und ähnlich wie bei den statischen Methoden in ein formales Modell umgewandelt, das dann systematisch bis in den letzten Winkel abgeklopft wird. „Das ist sehr effektiv, dauert aber für moderne Programme viel zu lange“, sagt Böhme.

Zumindest am Anfang der Fehlersuche ist das zufällige Generieren von Eingabewerten also effizienter als die systematische Exploration des Programmverhaltens. Im Laufe des Testens holt der Whitebox-Ansatz allerdings auf, weil er dazulernt und sich bereits getestetes Verhalten nicht noch einmal ansehen muss. Dem Blackbox-Ansatz hingegen ist es egal, ob er ein bestimmtes Verhalten bereits gesehen hat oder nicht. „Für einen Wissenschaftler ist es schon irgendwie kontraintuitiv, wenn ein Beschuss mit rein zufällig generierten Eingaben bessere Resultate liefert als eine tiefgehende Analyse“, sagt Böhme. „Am Ende meiner Doktorarbeit habe ich deshalb begonnen, mich für die Frage zu interessieren, ob sich dieses Verhalten erklären lässt.“ Ein Faktor neben der Sicherheit ist dabei der Zeitaufwand. Während ein Whitebox-Ansatz gerade mal eine oder zwei Eingaben pro Sekunde schafft, sind es mit einem Blackbox Fuzzer ohne Weiteres hunderttausend zufällig generierte Eingaben pro Sekunde. „Wir haben herausgefunden, welcher Ansatz unter welchen Bedingungen am besten funktioniert“, erzählt



Manipuliertes Echo: Das Heartbeat-Programm überprüft eine gesicherte Verbindung, indem es regelmäßig wechselnde Zeichenkombinationen abfragt und dabei jeweils die Zeichenzahl angibt. Cyberkriminelle haben die Software 2014 dazu gebracht, deutlich mehr Zeichen aus dem Speicher eines Servers auszulesen, als die erbetene Antwort umfasst. So haben sie sensible Daten abgegriffen.

Böhme. „Das hat uns dann zum Greybox Fuzzing geführt, das gewissermaßen das Beste aus zwei Welten vereint.“ Ein Greybox Fuzzer erzeugt Eingaben genauso schnell wie ein Blackbox Fuzzer, nutzt aber wie ein Whitebox Fuzzer zusätzliches Feedback über die bereits ausgeführten Teile des Programms. Damit vermeidet ein Greybox Fuzzer wiederholte Tests derselben Softwareelemente, die den ganzen Prozess verlangsamen. Es entgehen ihm aber auch keine Softwareteile mit Nischenfunktionen.

Der Greybox Fuzzer ist dabei ein regelrechter Fehlerfuchs: „Wenn eine Software dem Fuzzing zum ersten Mal unterzogen wird, finden wir durchschnittlich zwei bis drei Fehler inklusive Sicherheitslücken pro Tag“, sagt Böhme. „Nach ein paar Wochen reduziert sich das auf drei bis vier neue Fehler pro Woche und

bleibt dann konstant, weil ja immer wieder neue Fehler eingeführt werden.“ Die Kombination von Effizienz und Sicherheit überzeugt auch Techunternehmen: Allein bei Google sind heute hunderttausend Rechner dafür reserviert, Greybox Fuzzer auszuführen und damit rund um die Uhr über fünfhundert Softwareprojekte zu testen.

Bei den am Max-Planck-Institut entwickelten Fuzzern handelt es sich ausschließlich um Open-Source-Anwendungen, die also frei zugänglich im Netz zu finden sind. „Wir stellen sie damit auch kleinen Programmierern zur Verfügung, um ihnen die Fehlersuche in ihren eigenen Programmen zu erleichtern“, sagt Böhme. Darüber hinaus werden aber auch größere Open-Source-Projekte gescannt. Erst kürzlich haben Böhmes Fuzzer etwa eine schwerwiegende Sicherheitslücke in OpenSSL aufgedeckt, einer freien Software zur verschlüsselten Kommunikation in Browsern und E-Mail-Anwendungen. „Die Sicherheitslücke, die unser Team gerade gefunden hat, hätte es einem Angreifer erlaubt, Rechner zu übernehmen, von denen verschlüsselte E-Mails verschickt werden“, erklärt der Informatiker.

## Sicherheit für das Internet der Dinge

Trotz zahlreicher Kooperationen mit großen Unternehmen wie Bosch oder Oracle Labs bleibt Google der wichtigste Kooperationspartner für Marcel Böhmes Forschungsgruppe. Der amerikanische Techgigant hat großes Interesse an der Sicherheit von Open-Source-Projekten, da sie auch essenzielle Bestandteile seiner eigenen Produkte darstellen. „Für uns wiederum ist die Zusammenarbeit mit Google interessant, weil sie eben

Marktführer auf diesem Gebiet sind und über gewaltige Ressourcen verfügen, zu denen wir sonst keinen Zugang hätten“, erklärt Böhme. „Das ist eine Art Symbiose.“ Denn auch wenn Google die frei zugänglichen Fuzzer ohnehin nutzen könnte, ist der Konzern durch die enge Kooperation immer nahe am aktuellen Stand der Entwicklung. Bei allen aktuellen Erfolgen will sich Böhme in Zukunft aber auch neuen Herausforderungen stellen. Schließlich krepeln Digitalisierung und künstliche Intelligenz die Welt der Datenverarbeitung gerade gehörig um und verlangen dabei auch nach völlig neuen Sicherheitskonzepten. So gibt es etwa unter dem Schlagwort Industrie 4.0 einen Trend weg von großen, zentralen Recheneinheiten und hin zu vielen kleinen Geräten, die über verschiedene Sensoren verfügen und damit kleinere Aufgaben erfüllen. „Die haben in der Regel eher wenig Rechenleistung, weshalb die Sicherheit während der Entwicklung solcher Systeme oft sehr geringe Relevanz hat“, erklärt Böhme. Solche kleinen Einheiten tauschen häufig Daten mit anderen Geräten aus, etwa um von diesen die eigentlichen Berechnungen durchführen zu lassen. „Um im großen Maßstab sicherzustellen, dass die kleinen Geräte in diesem Internet der Dinge richtig funktionieren, könnte man etwa versuchen, eines davon dazu zu bestimmen, alle anderen Geräte zu testen“, meint Böhme. Auch die Sicherheit von Machine-Learning-Algorithmen, also der künstlichen Intelligenz, spielt eine immer größere Rolle in der Gesellschaft. „Diese Systeme funktionieren nach völlig anderen Prinzipien als klassische Computerprogramme“, sagt der Forscher. „Aber leider haben wir noch überhaupt keine Techniken, um sicherzustellen, dass etwa ein KI-Assistent auch wirklich das macht, was er soll.“ Das zu ändern betrachtet Böhme als wichtige Aufgabe, der er sich in Zukunft gemeinsam mit seinem Team vermehrt widmen möchte.

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

29



FOTO: FRANK VINKEN FÜR MPG

Wettlauf mit den Angreifern: Marcel Böhme und sein Team arbeiten daran, das Internet der Dinge und künstliche Intelligenz sicher zu machen. Mit Kirandeep Kaur diskutiert er eine neue Idee, um Schlupftüren für Cyberkriminelle zu schließen.

## GLOSSAR

### FUZZING

(abgeleitet von *fuzzy*, englisch für „unscharf“) bezeichnet automatisierte Testverfahren, bei denen Software mit zufälligen Eingaben auf Sicherheitslücken überprüft wird. Es wird unterschieden zwischen dem rein zufälligen Blackbox Fuzzing, dem Whitebox Fuzzing mit zusätzlichen Modellanalysen und dem Greybox Fuzzing, bei dem ein Programm systematisch mit massenhaften, zufällig gewählten Eingaben getestet wird.

### STATISCHE SOFTWAREANALYSE

versucht mathematisch zu beweisen, dass keine mögliche Eingabe zu einem kritischen Fehler im Programm führen kann.

Stigma Gefängnis:  
Die Resozialisierung  
von Gefangenen,  
eigentlich das oberste  
Ziel des Strafvollzugs,  
scheitert viel zu oft.

ILLUSTRATION: ALESSANDRO GOTTARDO

# LEBENSLANG

*TEXT:*  
*MARTIN TSCHECHNE*

Welche Ziele verfolgt eigentlich ein moderner, aufgeklärter Strafvollzug? Und wie verträgt sich die Idee der Wiedereingliederung mit der Option einer lebenslangen Haftstrafe? Federica Coppola, Juristin am Max-Planck-Institut zur Erforschung von Kriminalität, Sicherheit und Recht stößt mit ihren Fragen schnell an die Grenzen der Rechtspraxis. Und gibt überraschende Antworten.

Was die Ministerin auf dem Bildschirm sah, war eine Orgie der Gewalt. Überwachungskameras im Gefängnis Santa Maria Capua Vetere hatten festgehalten, wie verummte und gepanzerte Einsatzkräfte die Zellen trakte stürmten, wie sie die Häftlinge zu Boden warfen und mit Knüppeln auf sie einprügelten. Sie zwangen ihre Opfer, sich hinzuknien, einigen wurden die Köpfe kahl geschoren: Es ging um Erniedrigung, um Demütigung, um Entwürdigung; auch ein Gefangener im Rollstuhl wurde misshandelt. 15 Männer verschwanden in Einzelhaft, ohne Verfahren, einfach so.

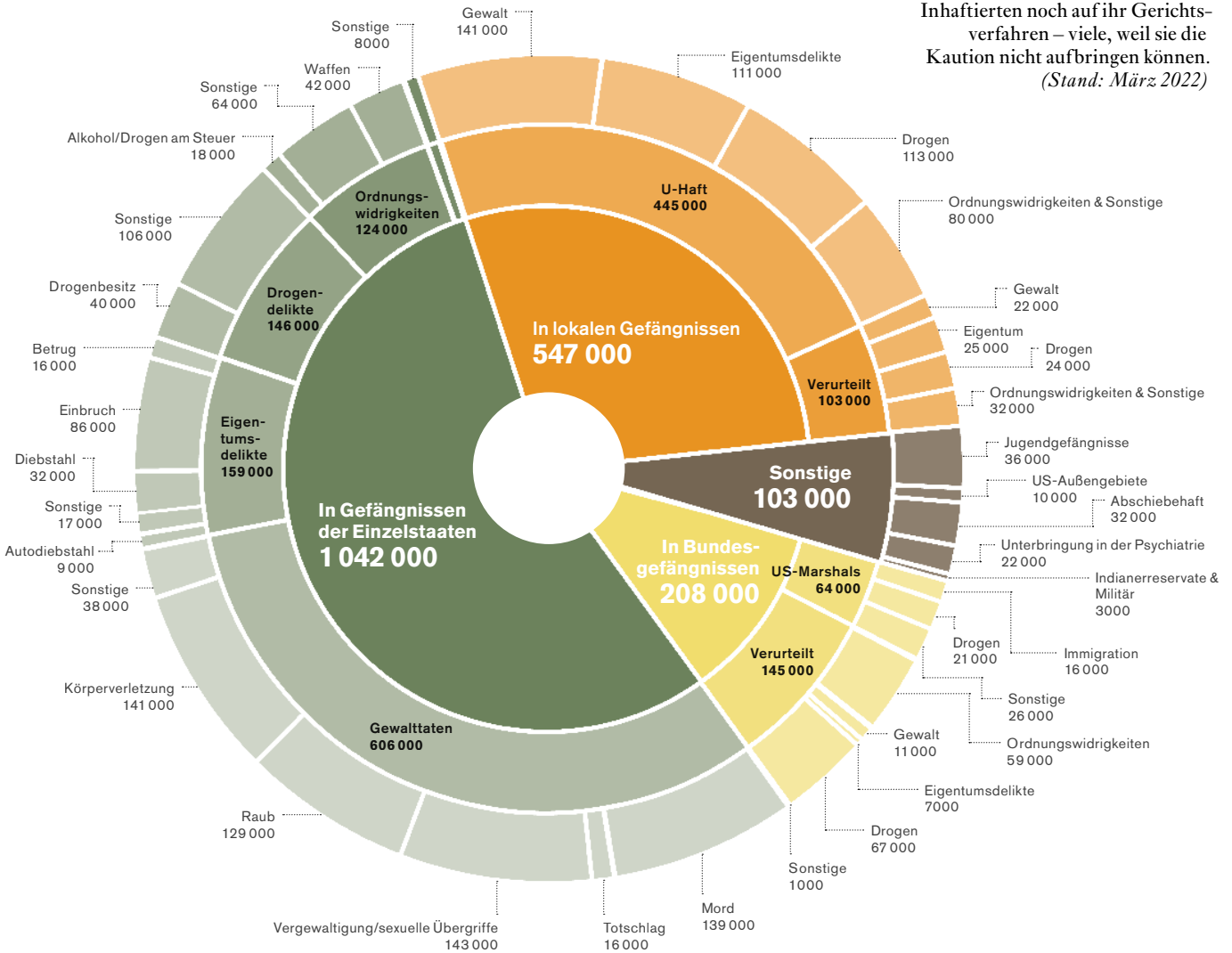
Es war der 6. April 2020, Italien lag im Corona-Lockdown. Im Norden des Landes brach die medizinische Versorgung unter dem Andrang der Infizierten zusammen, in Bergamo gingen die Särge aus. Auch in der Haftanstalt bei Neapel waren Fälle von Covid auf-

getreten – doch das Haus war überbelegt, mehr als 150 Häftlinge über dem zugelassenen Limit von 800; die Enge ließ keine Chance, das Virus auf Abstand zu halten. Lärmender Protest aber war in der Gefängnisordnung nicht vorgesehen. Die Vollzugsbehörden reagierten mit Härte, wollten Exempel statuieren, den Widerstand brechen, mit aller Gewalt. Ähnliche Strafaktionen wurden aus Gefängnissen in Melfi, Pavia und Mailand gemeldet.

Marta Cartabia, seit Anfang 2021 im Kabinett Mario Draghi zuständig für das Justizressort, sah die Aufzeichnungen, hörte die Berichte und handelte entschlossen. 52 Wachleute waren bereits suspendiert worden, einige saßen in Untersuchungshaft. Doch die Ministerin ließ nicht locker, ermittelte weiter, sammelte Material. Als der Prozess wegen Körperverlet-

### 1,9 MILLIONEN MENSCHEN SITZEN IN DEN USA IN HAFT

In Gefängnissen der US-Staaten oder des Bundes (*prisons*) verbüßen bereits Verurteilte ihre Strafe. In lokalen Gefängnissen (*jails*) warten die meisten Inhaftierten noch auf ihr Gerichtsverfahren – viele, weil sie die Kaution nicht aufbringen können. (Stand: März 2022)





zung, in einem Fall mit Todesfolge, wegen Amtsmissbrauchs, Falschaussage und Verschleierung von Straftaten im vergangenen November aufgenommen wurde, mussten sich 105 Gefängniswärter vor Gericht verantworten.

In Freiburg hat Federica Coppola jedes Detail der Aktion verfolgt. Für die in Süditalien geborene, heute am Max-Planck-Institut zur Erforschung von Kriminalität, Sicherheit und Recht arbeitende Juristin war der Vorstoß der Ministerin ein mutiger Anfang, zumindest ein Versuch, das System der Justiz für andere Ziele zu öffnen, für Ausgleich, Wiedereingliederung, Wahrung der Menschenwürde. Denn immer noch bestimmt in den Augen der Forscherin politisch vordergründiges Kalkül die Kriminalitätsbekämpfung: Wer hart bestraft und mit härterer Strafe droht, demonstriert Stärke und Entschlossenheit, erzeugt vielleicht sogar ein – wenn auch flüchtiges – Gefühl größerer Sicherheit. Coppola indes sah sich durch die niedergeknüppelten Proteste bestätigt: Man müsste zu den Prämissen des Strafvollzugs vordringen: zum Bild des Menschen und zur Rolle der Justiz.

Die EU-Kommission schaltete sich ein und verlangte eine „vertiefte und unabhängige Untersuchung der Vorfälle“, die parteilose Ministerin Cartabia, zuvor Präsidentin des italienischen Verfassungsgerichts, sah einen „Verrat an der Verfassung“. Matteo Salvini aber, Vorsitzender der rechtskonservativen Lega Nord, ergriff die Gelegenheit, sich mit den gewalttätigen Wärtern zu solidarisieren; der Umgang mit Straftätern war schon immer gut für populistische Auftritte. Später nahm er seine Äußerungen zurück; die öffentliche Empörung über die Exzesse hatte sich gegen ihn gewandt. Giorgia Meloni hingegen, der Chefin der postfaschistischen Partei Fratelli d'Italia, hat es nicht geschadet, dass sie sich demonstrativ hinter das Gefängnispersonal stellte. Sie ist heute Italiens Ministerpräsidentin.

Coppola aber sammelt wissenschaftliche Evidenz. Und von Anfang an war ihr klar, dass sie mit dem interdisziplinären Ansatz ihrer Arbeit in ein Vakuum stößt. Strafrecht und Strafvollzug im Alltag basieren auf einer alten, sehr isolierenden Auffassung von Schuld und Sühne, auf ritueller Verbannung und dem Glauben an eine Reinigung durch Schmerz. Das italienische Wort *pena*, hergeleitet vom lateinischen *poena*, so erläutert die Juristin, bedeute beides: Schmerz und Strafe. Im Englischen steckt es in *pain*, Schmerz, ebenso wie in *punishment*, Strafe. Ausgleich und Wiedergutmachung aber, Einsicht und aktive

Reue aufseiten des Täters und Heilung auch der Opfer und Hinterbliebenen sind Projekte einer restaurativen Justiz, die sich immer noch – und nicht nur in Italien – vor dem Hintergrund eines strafenden Systems rechtfertigen und bewähren muss. Und immer noch gilt mit Cesare Beccaria ein Denker der Aufklärung als wichtigster Reformierender der Rechtspraxis.

## Enge und Isolation machen feindselig

Beccarias Hauptwerk *Über Verbrechen und Strafe* erschien 1764. Der aus Mailand stammende Vertreter einer utilitaristischen Philosophie verurteilte darin die öffentlichen Hinrichtungen und die Quälerei aus Rache und religiös aufgeheiztem Volkszorn. Stattdessen forderte er die Begrenzung von Strafe auf ein Maß, das die Menschlichkeit und die öffentliche Ordnung sichert. In der Praxis also: Gefängnis – ein segensreicher Fortschritt in Beccarias Zeit. Sein Buch hat eine uralte Kultur der Vergeltung infrage gestellt, hat dazu beigetragen, ihre extremsten Formen in vielen Ländern abzuschaufen, und damit Menschenleben gerettet. Federica Coppola rühmt ihn als Revolutionär. Doch

Maßstab der Rechtsprechung blieb noch lange, dass das zu beschützende Objekt das Leben außerhalb der vergiterten Zellen sei.

### AUF DEN PUNKT GEBRACHT

Strafrecht und Strafvollzug basieren auf einer archaischen Auffassung von Schuld und von Sühne durch Schmerz.

Befunde aus den Neurowissenschaften, der Psychologie und der Soziologie bestätigen, dass herkömmliche Haftstrafen sich negativ auf die Gefangenen auswirken.

Dem eigentlichen Ziel, die Inhaftierten wieder in die Gesellschaft einzugliedern, wird der Alltag in den meisten Gefängnissen nicht gerecht. Es braucht eine grundlegende Reform der Strafjustiz.

Mit Sozialpsychologie, mit Verhaltensforschung, Kulturosoziologie und vor allem mit den Befunden der modernen Hirnforschung betritt die 35-jährige Juristin Neuland. Coppola nutzt dieses empirische Wissen in ihrer Forschung, um sich gegen die Einzelhaft, gegen die systematische Gewalt in Gefängnissen, gegen die weltweit praktizierten Rituale der Ausgrenzung und Stigmatisierung Inhaftierter und gegen die archaische Praxis der Todesstrafe in Ländern wie den Vereinigten Staaten einzusetzen. Sie verweist darauf, welcher konkreten Gefahr sich eine Gesellschaft aussetzt, die menschenverachtende Grausamkeit zulässt, fordert und vielleicht sogar als verdiente Strafe bejubelt. Es ist die Gefahr, jede Perspektive von gesellschaftlicher Entwicklung, von Menschenrecht und Moral aus den Augen zu verlieren und selbst zurückzufallen in Rohheit und Gewalt.

Die Wissenschaftlerin spricht von einem strategischen Paradox. Mit ihrem Fokus auf Vergeltung, Abschreckung und Ausgrenzung, so ihre These, erzeugt oder zumindest begünstigt die strafrechtliche Praxis genau die Probleme, die sie zu beheben vorgibt. Aus Isolation



erwächst kein Gefühl für Mitmenschlichkeit und Verantwortung, aus Erniedrigung kein Bedürfnis, sich einer Gemeinschaft einzugliedern, anderen zu helfen, nützlich zu sein und selbst Hilfe zu erfahren. Aus der Androhung von Strafe erwächst keine Einsicht in die Moral des Miteinanders. Und Zorn lässt sich nicht brechen durch die Knüppel der Gefängnisaufseher.

Die Befunde aus den Laboren von Hirnphysiologinnen und experimentellen Psychologen bestätigen sie darin immer wieder. Mäuse verhalten sich friedfertig und normal, wenn sie genug Platz haben, Umgang mit Artgenossen, vielleicht auch ein paar Dinge, mit denen sie spielen können. In Enge und Isolation werden sie feindselig und aggressiv, ihre Affekte stumpfen ab, kognitive Fähigkeiten entwickeln sich zurück. Coppola freut sich, als könnte sie sich keinen schöneren Ausgangspunkt für ihre Argumentation vorstellen: „Das Gehirn ist ein soziales Organ“, fasst sie zusammen, was die Forschung in Jahrzehnten aufgebaut und bereitgestellt hat. „Auch wir Menschen sind dazu geschaffen, anderen zu begegnen. Das Nervensystem funktioniert überhaupt nur im Austausch mit einer sozialen Umgebung. Wird dieser Austausch blockiert, dann entwickelt es sich zurück. Ganz wörtlich: Das Gehirn schrumpft.“

## Versöhnung als Maßstab

Forschende haben Kinder in Waisenhäusern untersucht, die Insassen geschlossener Einrichtungen, Menschen, die Missbrauch, Gewalt und fortgesetzter Zurückweisung ausgesetzt waren. Ihre Beobachtungen bestätigen, erweitern und differenzieren den Befund der lebenslangen Formbarkeit des Gehirns. Vor allem aber liefern sie den Beweis für ein Grundbedürfnis nach Stimulation, Kontakt und dynamischem Wandel, so vital wie das Bedürfnis nach physischer Unversehrtheit. Das Gehirn sei ein plastisches und äußerst bewegungshungriges Wesen, sagt Coppola – aber es nimmt auch übel. Jede Erfahrung, jeder neue Impuls schreibt sich ihm ein, oft dauerhaft und auf allen Ebenen des Systems, von der Affektsteuerung in Hippocampus und Amygdala über die Verarbeitung des Stresshormons Cortisol bis hin zur Handlungssteuerung im präfrontalen Cortex. Isolationshaft, so mahnt die Juristin, erfülle den Tatbestand der Folter.

Damit gibt die natur- und sozialwissenschaftliche Forschung dem Konzept von Strafe eine neue, funktionale Grundlage. Ein gesundes Gefühl für Teilhabe und Verantwortung ist damit ebenso zu erklären wie sein nachhaltiges Verkümmern. Selbstwertgefühl ebenso wie Unruhe und Angst, Offenheit und Empathie ebenso wie Feindseligkeit und moralische Abstumpfung. Die Qualität einer Maßnahme ließe sich demnach bemessen am Erfolg von Wiedereingliederung und Versöhnung mit der Gesellschaft. Ganz einfach eigentlich. Und doch beklagt die Juristin mit Prädi-

katsexamen und Lehrerfahrung an der Columbia University in New York, dass die Befunde der Neurowissenschaften, der Psychologie und der Soziologie nicht die Rolle spielen, die ihnen gebührt – ebenso wenig das Wissen und die Erfahrung von Menschen, die den Gefängnisalltag aus eigener Erfahrung kennen. Das Strafrecht stecke in einer konzeptuellen Sackgasse. „Ich habe mein Studium abgeschlossen“, sagt sie, „mit einer leider nur sehr vagen Vorstellung davon, wie Recht im Alltag umgesetzt wird und was Gefängnis wirklich bedeutet.“

## „Isolationshaft erfüllt den Tatbestand der Folter.“

FEDERICA COPPOLA

Am 29. November 2022 wurde Kevin Johnson in den USA mit einer Giftspritze hingerichtet. Coppola zitiert den noch frischen Fall als Beispiel einer strafen- den Staatsmacht, die alles Interesse an Ausgleich und Rehabilitation verloren zu haben scheint. „In keiner anderen Demokratie weltweit“, sagt sie, „sitzt ein höherer Anteil der Bevölkerung im Gefängnis: 500 bis 800 Strafgefangene pro 100.000 Einwohner, insgesamt rund zwei Millionen. Zu viele Menschen werden einfach weggeschlossen.“

Für Johnsons Richter im Bundesstaat Missouri war es ein Fall von zweifelsfreier Klarheit: Gut 17 Jahre zuvor hatte der damals 19-jährige Afroamerikaner in einem Vorort von St. Louis einen weißen Polizisten erschossen. Es gab Eingaben wegen psychischer Labilität des Täters, auch hielten zwei der Geschworenen ihn für zu jung für ein Todesurteil, doch zum Schluss hatten der republikanische Gouverneur von Missouri und der Oberste Gerichtshof der USA – wieder mit zwei Gegenstimmen – eine Revision des Verfahrens abgelehnt. Die Angehörigen des Opfers, so erklärte das Gericht, hätten ein Anrecht auf Genugtuung und viel zu lange darauf warten müssen. Coppola weist solche Begründung als atavistisch zurück. Wie, so fragt sie, verträgt sich der staatlich unterstützte Wunsch nach Vergeltung mit dem Anspruch einer aufgeklärten Gesellschaft auf Rehabilitation?

„Beccaria war gegen die Todesstrafe“, sagt sie. „Das war ein Fortschritt. Aber was unterscheidet diese eigentlich von einer lebenslangen Haftstrafe, wenn es keine Möglichkeit gibt, auf Bewährung entlassen zu werden? Ist nicht auch eine lebenslange Haftstrafe, die jede Begnadigung und jede Chance auf Rehabilitierung und Resozialisierung kategorisch ausschließt, so etwas wie ein Todesurteil?“ In den USA bedeutet das Urteil „lebenslänglich“ tatsächlich oft Gefängnis bis zum Tod.

FOTO: WOLFRAM SCHEIBLE FÜR MPG

Rund jeder vierte zu lebenslänglicher Haft Verurteilte kommt nie wieder frei. Im deutschen Recht ist eine lebenslange Haftstrafe zunächst ein Freiheitsentzug auf unbestimmte Zeit. Frühestens nach 15 Jahren kann die Strafe zur Bewährung ausgesetzt werden. Allerdings geht die Sicherheit der Allgemeinheit vor. Täter, die als gefährlich eingeschätzt werden, bleiben im Gefängnis. Im Durchschnitt dauert eine lebenslange Freiheitsstrafe in Deutschland etwa 19 Jahre, doch auch hier gibt es Menschen, die deutlich länger eingesperrt sind. So wie Kurt Knickmeier.

In Geldern am Niederrhein kämpft der seit 37 Jahren wegen Entführung und dreifachen Mordes einsitzende Mann um sein Recht auf selbstbestimmtes Sterben. Bisher hat das Landgericht Kleve seine Klage abgelehnt. In Belgien wird über die Bedingungen für assistierten Suizid bei lebenslanger Haft diskutiert, in Kanada wird er praktiziert. Der Diskurs ist in vollem Gange, doch er rennt der Realität hinterher. „In Italien gab es allein im vergangenen Jahr 84 Fälle von Suizid in Gefängnissen“, fügt Coppola hinzu – „ohne Unterstützung und Begleitung durch die Behörden.“ Viele nahmen sich das Leben in einem frühen Stadium ihrer Strafe, und längst nicht alle waren zu lebenslanger Haft verurteilt.

„In meinen Augen ist das haarsträubend“, sagt die Juristin, „eine Bankrotterklärung des Systems.“ Sie verweist auf Norwegen als Beispiel für einen humanen, vom ersten Tag an auf Wiedereingliederung in die Gesellschaft ausgerichteten Strafvollzug. Häftlinge leben in offenen Wohngemeinschaften, empfangen Besuch, haben bezahlte Arbeit, Kontakt zur Gemeinschaft außerhalb der Haftanstalten – und der Erfolg bestätigt das Kon-

zept der Skandinavier: Es gibt deutlich weniger Gewalt unter den Häftlingen, auch gegen das Wachpersonal, und umgekehrt auch weniger Übergriffe des Personals auf die Gefangenen, weniger Ausbruchsversuche und am Ende eine Rückfallquote von weniger als 20 Prozent gegenüber 50 Prozent oder mehr in Ländern mit einem konventionellen, vor allem an Entmündigung und Strafe ausgerichteten Vollzug.

## Recht auf neue Chancen

Doch auch in Norwegen sitzt ein Massenmörder wie Anders Breivik, der vor 12 Jahren in Oslo und auf der Insel Utøya 77 meist junge Menschen getötet hat, in Einzelhaft, menschenwürdig, sogar komfortabel eingerichtet, doch abgeschlossen. Federica Coppola zuckt mit den Achseln. Resozialisierung sei ein äußerst komplexes Geschehen, sagt sie. Es beruhe darauf, dass alle Beteiligten eine Chance auf Erfolg sehen und bereit sind, daran zu arbeiten. „Vor allem aber: Die weitaus meisten Leute in den Haftanstalten sind keine Breiviks, sondern Menschen, die Eigentumsdelikte begangen haben, vielleicht Betrug oder Steuerhinterziehung. Oder vielleicht sind sie einfach ein paarmal zu oft schwarzgefahren. Viele derjenigen, die im Gefängnis sitzen, auch diejenigen, die wegen schwerer Verbrechen wie Mord inhaftiert sind, haben eine Vorgeschichte, die von schweren Traumata und sozialer Not geprägt ist. Sie alle haben ein Recht auf eine neue Chance und soziale Rehabilitation.“

Der Fall von Kevin Johnson in den USA löste Betroffenheit in der ganzen Welt aus, als seine 19-jährige Tochter darum bat, ihrem Vater in der Todeszelle die Hand halten zu dürfen. Sie war ein Kleinkind, als das Urteil gesprochen wurde, erst bei ihren Besuchen im Gefängnis, so erläuterte sie, habe sich ein Verhältnis von Zuneigung und Vertrauen zwischen ihnen entwickeln können. Der Antrag wurde abgelehnt: Zeugen einer Hinrichtung müssen nach geltendem Gesetz mindestens 21 Jahre alt sein. Ein Foto zeigt sie mit ihrem neugeborenen Sohn bei einem Besuch im Todestrakt. Der frisch gebackene Großvater strahlt. Federica Coppola schüttelt den Kopf. „Jede staatliche Reaktion auf Verbrechen“, fordert sie, „muss aktiv zu einer Rückkehr in die Gemeinschaft beitragen. Alles andere ist unmenschlich.“

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

Gerechtigkeit, neu gedacht: Vor dem Hintergrund neurowissenschaftlicher Erkenntnisse stellt Federica Coppola das herkömmliche Konzept des Strafvollzugs infrage.



Sie ist Wegbegleiterin, Helferin und Dokumentarin in einer Person: Hannah Pool, Senior Researcher am Max-Planck-Institut für Gesellschaftsforschung, hat als Studentin in Iran Kontakte zu afghanischen Migrantinnen und Migranten geknüpft und sich im Migrationsommer 2015 für Geflüchtete engagiert, bevor sie das Leben auf den Fluchtrouten zum Thema ihrer Forschung machte. Das Überwinden von Grenzen ist ihr ein wissenschaftliches wie auch ein persönliches Anliegen.

36

TEXT: SABINE FISCHER

Ein Nachmittag hinter Stacheldraht: Auf der Flucht aus Afghanistan sitzt eine Gruppe von Menschen an der EU-Außengrenze fest. Hinter ihnen liegen große Teile der sogenannten Balkanroute: Grenzübergänge mit Schleusern, der Weg über das Mittelmeer, Monate oder gar Jahre der Ungewissheit. Jetzt harren sie gemeinsam an der Grenze zu Griechenland aus und warten. Familien, Frauen, Alte – und Hannah Pool, Soziologin aus Deutschland. Zehn Monate lang begleitet sie die Gruppe auf dem gefährlichen und kostspieligen Weg nach Europa und wird so zur wissenschaftlichen Beobachterin ihrer teils generationsübergreifenden Flucht. Die Szenen, die sie im Rahmen dieser Forschungsarbeit begleiten durfte, hat die Soziologin heute noch deutlich vor Augen. Eine der älteren Frauen in der Gruppe erzählte Pool damals zum Beispiel, dass sie diese Art von grauen Filzdecken des UN-Flüchtlingshilfswerks, in die ihre Enkelkinder gehüllt waren, schon einmal gesehen hatte – als sie selbst noch ein Kind war und nach Pakistan flüchtete.

Welche Rolle spielen finanzielle Mittel und soziale Kompetenzen für das Überqueren von Grenzen? Und wie prägt der Weg die Vorstellung flüchtender Menschen von Heimat und Herkunft? *Doing the Game: The Moral Economy of Coming to Europe* ist der Titel der fünffach ausgezeichneten Dissertation, die aus Hannah Pools Beobachtungen entstanden ist. Für ihre Forschungsarbeit am Max-Planck-Institut für Gesellschaftsforschung begleitete Pool Menschen aus Afghanistan über Iran auf der Flucht entlang der sogenannten Balkanroute und führte an verschiedenen Punkten ihrer Reise Interviews mit ihnen.

Die Fragestellungen, mit denen Pool sich für diese Forschung auseinandersetzte, begleiten die Wissenschaftlerin schon sehr lange. Seit ihrer Jugend bringt ihre Neugier auf die Welt sie immer wieder in Berührung mit Themen wie Herkunft, Migration und Flucht. „Ich habe diese Neugier oft mit Reisen verbunden und daraus kleine Forschungsprojekte entwickelt“, sagt sie. Nach dem Abitur reiste sie mit einem Stipendium der ZIS Stiftung zwei Monate durch die Türkei und besuchte dort eine ehemalige Schulfreundin, die mit ihrer türkischstämmigen Familie dorthin gezogen war. „Ich wollte wissen, wie es für sie war, in dem für sie fremden Heimatland ihrer Großeltern zu leben“, so Pool. Während ihres Bachelorstudiums der internationalen Beziehungen an der Technischen Universität Dresden verbrachte sie als DAAD-Stipendiatin außerdem ein akademisches Auslandsjahr in Iran. An der Universität Teheran lernte sie Menschen kennen, die selbst in das Land migriert waren und einen hybriden Begriff von Heimat in sich trugen.

„Mein Freundeskreis in Iran war vielfältig, aber auch sehr afghanisch geprägt. Viele meiner Bekannten gehörten zu den Hazara, einer in Afghanistan po-

—>

# BESUCH BEI

---

HANNAH  
POOL

FOTO: ANTHONY SADDLER FÜR MPFG



37

Ein anderer Blick auf die Ökonomie: Hannah Pool erforscht das Leben von Migrantinnen und Migranten auf ihrem Weg nach Europa, insbesondere die Frage, wie diese Menschen auf ihrer Route die schwierige wirtschaftliche Situation bewältigen.

litisch verfolgten Minderheit. Sie mussten Anfang der 1990er-Jahre wegen ihrer Situation nach Iran flüchten. Durch ihren Blick habe ich begonnen, eine andere Perspektive kennenzulernen und das Leben in Iran vielschichtiger zu erfahren und zu hinterfragen“, sagt Pool. In dieser Zeit lernte die Soziologin fließend Farsi. Ihre Sprachkenntnisse setzte sie 2015 als frei-

willige Übersetzerin auf der Insel Kos und entlang der Balkanroute ein, um Geflüchteten vor Ort zu helfen – ein soziales Engagement, das sie über Umwege letztlich ans Max-Planck-Institut führte.

Gemeinsam mit dem Dokumentarfotografen Felix Volkmar hatte sie nach ihrer Zeit an den

38



FOTO: ANTHONY SAJDLER FÜR MPG

An renommierter Adresse: Die Universität Oxford hat Hannah Pool eingeladen, als Visiting Fellow am dortigen Refugee Studies Centre ihre Dissertation zu einem Buch auszuarbeiten.

europäischen Außengrenzen verschiedene Fotoausstellungen konzipiert. In Kooperation mit afghanischen und syrischen Aktivistinnen und Aktivisten zeigten die beiden ihre Werke bei Workshops in ganz Deutschland. Ein Stopp: das Max-Planck-Institut für Gesellschaftsforschung in Köln. „Ich habe hier einen Vortrag gehalten und wurde gefragt, ob ich mir vorstellen könnte, das Thema wissenschaftlich auszuarbeiten. Außerdem hat man mich ermutigt, mich für das IMPRS-Programm zu bewerben“, erinnert sich Pool. Das Graduiertenprogramm International Max Planck Research Schools (IMPRS) bietet begabten Promotionsstudentinnen und -studenten die Möglichkeit, ihr Forschungsprojekt mit Unterstützung eines Betreuungsteams umzusetzen. Seminare, Workshops, Summer Schools und Konferenzen ergänzen das Programm.

So entstand schließlich der wissenschaftliche Rahmen für Pools Dissertation. Den inhaltlichen Grundstein legten jene Beziehungen, die die Soziologin schon während ihrer Zeit in Iran geknüpft hatte – denn einige der Personen, die sie auf dem Weg nach Europa begleitete, kennt sie schon aus ihrer Studienzeit: „Meine Forschung war nur aufgrund dieser Vertrauensbasis möglich.“

fordernden Zeit öffneten, ist für Pool nicht selbstverständlich. „Ich bin sehr dankbar für das Vertrauen, das man mir dabei entgegengebracht, und für die Geschichten, die man mir erzählt hat“, sagt sie. Damit geht sie bis heute behutsam um: Wenn sie spricht, wählt sie ihre Begriffe und Formulierungen so bedacht, als könnten sie zerspringen, wenn sie nicht sorgfältig platziert werden. Viele Begegnungen schildert sie mit Vorsicht und Wohlwollen den Menschen gegenüber, die sie teilhaben ließen – an ihren Erlebnissen, Ausnahmesituationen, Gedankenwelten. Oft hätten die Menschen Pool auf ihrer Reise aktiv zu Veranstaltungen eingeladen, die für ihre Forschung relevant sein könnten, erzählt sie. Zum Gespräch mit einer Anwältin zum Thema Aufenthaltsrecht zum Beispiel. Oft konnte die Soziologin die Flüchtenden ihrerseits mit Übersetzungen unterstützen. Die Beziehungen, die so entstanden, sind eng: Mit den Hauptpersonen ihrer Doktorarbeit war sie während der gesamten Flucht dauerhaft in Kontakt.

Die Komplexität ihrer Rolle für die und in der Gruppe war Hannah Pool stets bewusst. „Ich habe einen deutschen Pass, bin EU-Bürgerin und hätte jederzeit gehen können. Es wäre anmaßend zu denken,

## „Es wäre anmaßend zu denken, ich könnte gänzlich nachvollziehen, was Menschen auf der Flucht wirklich erleben.“

Für ihre Doktorarbeit zeichnete Hannah Pool insgesamt 66 qualitative Interviews auf und führte informelle Gespräche mit mehr als 350 Personen, die sie in ihren Notizen festhielt. Viele der Menschen – vor allem die Kerngruppe von 22 Personen, die den Hauptteil der Betrachtungen ausmacht – begleitete sie dafür über mehrere Stationen der Reise. Von Iran über die Türkei bis nach Deutschland. Manchmal verbrachte sie mehrere Tage oder Wochen mit ihnen, lebte am selben Ort wie sie und war vom Frühstück bis zum Abendessen mit ihnen zusammen: die Wissenschaftlerin mit dem Aufnahmegerät, die zuhört und einordnet. Während ihrer Feldforschung wurde Hannah Pool zum willkommenen Gast in der Unmöglichkeit der Flucht. Dass die Menschen sich ihr gegenüber in einer so heraus-

ich könnte gänzlich nachvollziehen, was Menschen auf der Flucht wirklich erleben.“ Diese eingeschränkte Perspektive hat die Soziologin ausführlich reflektiert: Ihre Dissertation schließt 20 Seiten Kontextualisierung ihrer Sichtweise als die einer jungen, europäischen Person ein. Dazu kam, dass sich ihre Rolle immer wieder aufs Neue veränderte – je nachdem, an welcher Station der Reise sie die Gruppe traf. „In Iran zum Beispiel wurde ich von den Menschen klar als Gast in ihrem Leben willkommen geheißen“, erinnert sich Hannah Pool. Dort war sie auch immer wieder zu Anlässen wie Geburtstagen oder Hochzeiten eingeladen, wo sie wiederum weitere Afghaninnen und Afghanen kennenlernen konnte. „In der Türkei waren wir hingegen alle fremd – und obwohl sie immer noch ihr





FOTOS: FELIX VOLKMAR

40



Familien auf dem Weg in die EU: Noch vor ihrer Doktorarbeit zu Fluchtrouten hat Hannah Pool im Sommer 2015 zusammen mit dem Fotografen Felix Volkmar Flüchtlinge begleitet und unterstützt. Die Bilder entstanden unter anderem auf der griechischen Insel Kos (oben) und an der ungarischen Grenze (unten). In Ausstellungen und Vorträgen an verschiedenen Stationen in Deutschland vermittelten die beiden anschließend ihre Erfahrungen.



Bestes gaben, damit ich mich wohlfühlte, verschoben sich die Rollen. An den europäischen Außenstellen wurde ich auch als EU-Bürgerin wahrgenommen und mit Fragen konfrontiert, warum die EU so einen Zustand zulässt.“ Die Brutalität an den Grenzen zu Europa gehört zu den einschneidendsten Erinnerungen, die Hannah Pool an ihre Feldforschung hat. Ganz besonders eine Situation zwischen Bosnien-Herzegowina und Kroatien ist ihr im Gedächtnis geblieben. In der Nähe eines verlassenen Fabrikgeländes bei der Stadt Bihać zelteten rund 120 Menschen, weit abseits der Aufmerksamkeit westlicher Medien. Als Pool dort ankam, traf sie auf Asylsuchende, die hungerten, die offene Wunden und Erfrierungen hatten, aber abgeschnitten waren von medizinischer Versorgung. Ihr Versuch, die Grenze nach Europa zu überschreiten, war vorerst brutal gescheitert. „Die Zustände dort waren von Gewalt geprägt. Es ist schwer zu beschreiben, mit welcher Brutalität Menschen in Uniformen gegen Menschen vorgingen, die einen Asylantrag stellen wollten“, sagt Pool.

Anhand codierter Interviews, Feldnotizen, Informationen aus Institutionen und wissenschaftlicher Literatur wertete sie ihre Forschung schließlich aus und stellte dabei verschiedene Muster heraus. Eines davon: die Struktur der „moralischen Ökonomie“ auf der Reise nach Europa. Dahinter verbergen sich Fragen, wie genau soziale Beziehungen für das Aufbringen, Tauschen oder Beschaffen finanzieller Mittel genutzt werden, wie beide Aspekte zueinander stehen und welche Bedeutung sie jeweils haben, damit auf der Flucht Grenzen überwunden werden können. Zum einen werden Flüchtende zum Beispiel an bestimmten Punkten der Route immer wieder immobil, durch Gewalt an den Grenzen oder fehlendes Geld, das sie als Tagelöhner oder in der Landwirtschaft verdienen müssen, um Schleuser zu bezahlen. Zum anderen kommt dem Verleihen und Tauschen von Geld zwischen Menschen, die gemeinsam auf der Flucht sind, eine bedeutende Rolle zu. Als beispielsweise das Mobiltelefon einer Frau aus der Kerngruppe von Pools Beobachtungen kaputtgegangen sei, sei eine andere sofort eingesprun-

## „Die Route mit ihren Stationen und oft auch mit Rückkehr und erneutem Aufbruch muss als eigener Faktor mitbedacht werden.“

41

Ihre Dissertation ergründet Zusammenhänge und Verflechtungen entlang der Fluchtrouten: Wie gestaltet sich die gegenseitige, auch finanzielle Unterstützung zwischen Menschen, die sich aus Afghanistan oder Iran illegal auf den Weg nach Europa machen? Welchen Stellenwert haben ihre sozialen Beziehungen, um auf dieser Reise das notwendige Geld zu beschaffen, zu tauschen oder zu leihen? Um solche Entscheidungsprozesse nachzuvollziehen und die Komplexität von Migrationsrouten sichtbar zu machen, legt Pool ihrer Arbeit einen ethnografischen Ansatz zugrunde: Im Zentrum steht die teilnehmende Beobachtung durch eine intensive Feldforschung im sozialen Raum. Als Forschende nahm sie am Alltag der Gruppen teil, die sie beobachtete, und sammelte dabei Daten mithilfe verschiedener Erhebungsmethoden. Durch diese Herangehensweise konnte Pool ihre Fragestellung auf mikrosoziologischer Ebene detailliert durchdenken und Zusammenhänge an kleinen Beispielen deutlich machen.

gen, um ein neues Gerät zu finanzieren – weil beiden Frauen klar war, welche entscheidende Bedeutung das Telefon als Kommunikationsmittel auf der Flucht hatte.

Ebenso deutlich wurde für Hannah Pool die Ambiguität, die der Begriff Herkunft für jemanden hat, der so lange in einem Zwischenstadium existiert. „In der traditionellen Migrationsforschung richtet sich der Blick entweder auf das Herkunfts- oder auf das Zielland. Aber die Bedeutung der Route mit ihren Stationen und oft auch mit Rückkehr und erneutem Aufbruch muss als eigener Faktor mitbedacht werden“, sagt sie heute. Zudem sei der Begriff der Herkunft multidimensional und präge sich oft über Generationen hinweg. „Viele Menschen aus Afghanistan mussten zum Beispiel schon in den 1980er-Jahren aus ihrem ursprünglichen Herkunftsland fliehen und leben seither in Iran. Bei einem Asylantrag innerhalb der EU ist es da heute sehr schwierig, Do-

—&gt;

kumente wie Geburtsurkunden oder Pässe vorzuweisen, die die Herkunft belegen. Außerdem haben viele der Menschen, die ich begleitet habe, sich zwar als Afghaninnen und Afghanen bezeichnet, aber dieser Begriff und das eigene Zugehörigkeitsgefühl sind natürlich individuell, fließend, und sie beziehen auch verschiedene Aufenthaltsorte ein“, argumentiert die Wissenschaftlerin.

Heute ist Hannah Pool Senior Researcher am Max-Planck-Institut für Gesellschaftsforschung in Köln. Erst vor Kurzem ist sie hier in ein neues Büro gezogen: ein heller Raum, in dem erst wenige Möbel stehen und die Bücherregale noch fast leer sind. Nur Pools Auszeichnungen sind ordentlich in einem Regal aufgereiht – über die Anerkennung, die ihre Dissertation vonseiten der wissenschaftlichen Community erhalten hat, freut die Soziologin sich sehr. Fünfmal wurde ihre Arbeit bisher ausgezeichnet, unter anderem mit dem Dissertationspreis der Deutschen Gesellschaft für Soziologie und der Otto-Hahn-Medaille der Max-Planck-Gesellschaft.

Karlspreisstiftung arbeitete sie kürzlich an einem Projekt zur Wahrnehmung von Grenzen während der Coronapandemie. Dabei untersuchte sie verschiedene Formen der Migration und ging unter anderem der Frage nach, wie die erzwungene Immobilität durch die Schließung der Grenzen die Wahrnehmung europäischer Solidarität veränderte.

Ganz abgeschlossen hat sie mit ihrer Doktorarbeit allerdings noch nicht: Im Frühjahr 2023 arbeitet sie als Visiting Fellow des Refugee Studies Centre der University of Oxford an der Veröffentlichung ihrer Abschlussarbeit als Buch. Dann können die Menschen, die Pool während ihrer Forschung ihre Geschichten erzählt haben, selbst lesen, welche Erkenntnisse die Soziologin daraus gezogen hat. Bis heute hat Hannah Pool Kontakt mit den meisten Geflüchteten, die sie begleitete. Wenn sie von ihnen erzählt, strahlt sie. Eine von ihnen engagierte sich zum Beispiel inzwischen politisch und sei Teil des Berliner Bürgerrates geworden. Eine andere machte erfolgreiche Tiktok-Videos. „Jetzt, nachdem sie in Deutschland angekommen sind, laden sie mich in ihre Wohnun-

42

## „Hannah Pools Arbeit ist ein Durchbruch in der Erforschung der Einwanderung afghanischer Flüchtlinge nach Deutschland.“

JENS BECKERT

Für Jens Beckert, Direktor am Max-Planck-Institut für Gesellschaftsforschung, kommen diese Auszeichnungen nicht überraschend: „Hannah Pools Arbeit ist ein Durchbruch in der Erforschung der Einwanderung afghanischer Flüchtlinge nach Deutschland. Erstmals begleitete eine Forscherin die Flüchtlinge von ihrem Ausgangspunkt in Iran bis nach Deutschland“, sagt er. „Mit ihrem Blickwinkel, der die Geldbeziehungen während der Flucht in den Vordergrund stellt, gelingt Pool zudem eine besonders informative Sichtweise auf die sozialen Austauschbeziehungen, welche die Flucht kennzeichnen.“

Die Überwindung von Grenzen prägt Hannah Pools Forschungsinteresse auch weiterhin. Als Fellow der

gen in Deutschland ein. Es ist ein schönes Gefühl zu sehen, wie sie hier ankommen und ihre Wege weitergehen – und dass sie mich dabei immer noch an ihrem Leben teilhaben lassen“, sagt Pool.

Die Forscherin freut sich sehr über die Anerkennung aus der Wissenschaft. Doch was das andere Publikum – die Geflüchteten selbst – über ihre Arbeit denkt, ist ihr mindestens genauso wichtig. „Einige meinten, dass ihre Kinder das Buch einmal lesen sollen, um die Geschichte ihrer Eltern zu verstehen“, sagt sie. Bei zweien stehe heute schon eine Ausgabe ihrer Dissertation im Regal. „Das gebundene Buch wird dann aber noch einmal ein größerer Schritt. Ich bin sehr gespannt auf ihr Feedback“, so Hannah Pool.





PIONIERS  
DES WISSENS

DIE NOBELPREISTRÄGER\*INNEN DER MAX-PLANCK-GESELLSCHAFT

## DIGITAL STORY

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



**ÜBER DAS PROJEKT** Mit „Pioniere des Wissens“ präsentiert die Max-Planck-Gesellschaft erstmals die Forschung ihrer Nobelpreisträger\*innen in umfassender Weise in einer Digital Story. Eine Auswahl der Themen und Preisträger\*innen aus der Digital Story zeigt sie anlässlich ihres Jubiläumsjahres 2023 überdies in der Wanderausstellung im Science Pavillon in verschiedenen deutschen Städten.



44

BILD: NASA, ESA, CSA, STSCI, IMAGE PROCESSING: JOSEPH DEPASQUALE (STSCI), ALYSSA PAGAN (STSCI)



# ZWEITER BLICK

*MAX-PLANCK-INSTITUT  
FÜR ASTRONOMIE*

Die Säulen der Schöpfung in neuem Licht: Das James-Webb-Weltraumteleskop wirft einen Blick auf die Wiege der Sterne inmitten unserer Milchstraße. Die MIRI-Kamera erfasst infrarotes Licht mittlerer Wellenlängen, das von Gas und Staub ausgeht (rechts). Je dunkler die grau-blauen Strukturen, desto kälter und dichter sind Gas und Staub – ein Hinweis auf Regionen, in denen neue Sterne entstehen. Ein zweiter Blick mit der NIRcam von James Webb bei etwas kleineren Infrarotwellenlängen (links) macht die Geburtskokons teils transparent, und das Licht junger Sterne kommt zum Vorschein. Die Kamera erlaubt auch einen Blick auf den pulsierenden Vorgang der Sternentstehung selbst. Die Spitze der mittleren Säule zeigt Schockwellen (tiefes Rot), mit denen sich ein junger Stern langsam Platz verschafft. Das Max-Planck-Institut für Astronomie war an der Entwicklung der MIRI-Kamera maßgeblich beteiligt.

45

BILD: NASA, ESA, CSA, STSCI; J. DEPASQUALE, A. KOEKEMOER, A. PAGAN (STSCI)

# 75 JAHRE



Eine Feier der Wissenschaft: Am 26. Februar 2023 beging die Max-Planck-Gesellschaft ihr 75-jähriges Jubiläum im Münchner Deutschen Museum.

46

FOTO: ANNA SCHROLL FÜR MPG

# EIN SPIEGEL IHRER ZEIT

TEXT: JÜRGEN KOCKA

Seit ihrer Gründung 1948 hat sich die Max-Planck-Gesellschaft nicht nur als weltweit anerkannte Forschungsorganisation etabliert, sie wurde auch zu einem einflussreichen Teil der deutschen und europäischen Zeitgeschichte. Bei einem Festakt zu ihrem 75-jährigen Jubiläum in München zeigte dies der Historiker Jürgen Kocka. Seinen Vortrag veröffentlichen wir hier in gekürzter Form.

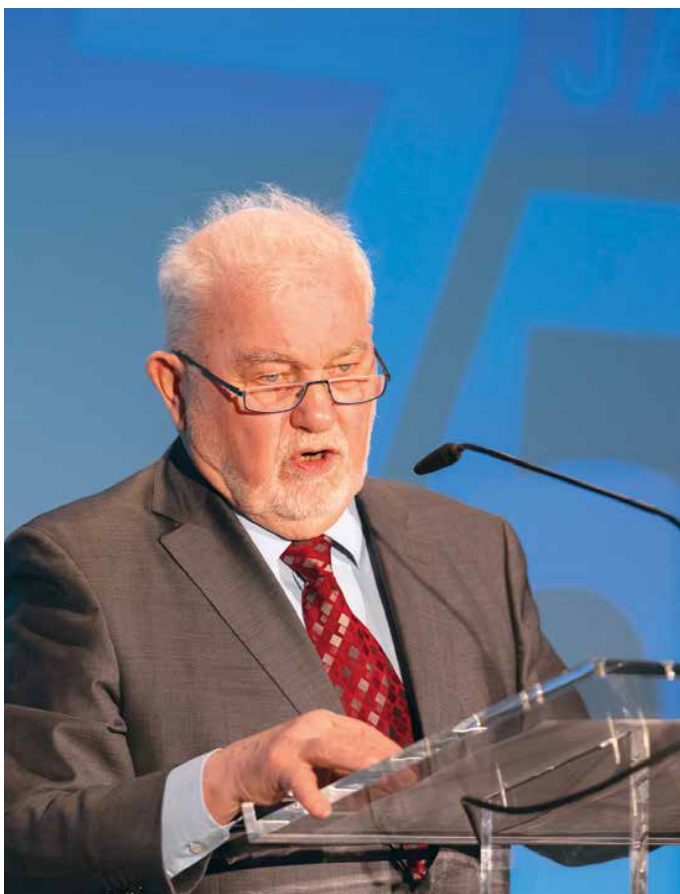
47

Die Max-Planck-Gesellschaft (MPG) entstand 1946 bis 1949 in den westlichen Besatzungszonen Nachkriegsdeutschlands als modifizierte Fortführung der 1911 gegründeten Kaiser-Wilhelm-Gesellschaft zur Förderung der Wissenschaften (KWG). Das war keineswegs selbstverständlich, denn die Besatzungsmächte zielten auf die langfristige Schwächung auch der wissenschaftlichen Potenz des besiegten Landes. Sie wussten überdies, wie tief die KWG mit der nationalsozialistischen Kriegs- und Vernichtungspolitik verflochten gewesen war, sie drängten auf ihre Auflösung, und sie setzten sich in ihren Zonen für alternative Organisationsmodelle außer-universitärer Forschung ein. Dass das Erbe der KWG doch überlebte, lag zum einen am Einsatz der deutschen Seite. KWG-Wissenschaftler wie Otto Hahn und Werner Heisenberg kämpften für ihren Erhalt. Sie verfügten über hohes internationales

Prestige, auch über gute internationale Verbindungen, vor allem nach Großbritannien. Die westdeutschen Länder fanden sich trotz der allgemeinen Mittelknappheit bereit, gemeinschaftlich die langfristige Finanzierung überregionaler Forschungseinrichtungen, auch der MPG, zu übernehmen – setzte man doch auf exzellente Wissenschaft als Mittel des wirtschaftlichen und gesellschaftlichen Wiederaufbaus.

Die Besatzungsmächte verfolgten zunächst unterschiedliche Ziele, als entscheidend erwiesen sich dann allerdings der entstehende Kalte Krieg und damit das Bestreben der Westalliierten, Westdeutschland als vollen Bündnispartner gegen die Sowjetunion zu stärken. Damit erst schwenkten die Amerikaner auf die Linie der Briten ein, die in ihrer Zone schon vorher bereit gewesen waren, deutsche Präferenzen zu akzeptieren.





48

Kritischer Blick: Jürgen Kocka betonte unter anderem die Rolle der MPG in den Beziehungen zu Israel und bei der Wiedervereinigung, aber auch ihre politische Zurückhaltung.

Und so gab es grünes Licht für die Gründung der MPG am 26. Februar 1948 in Göttingen.

Die Grundstruktur der MPG war bereits in der Grundstruktur der KWG vorgeformt. Einerseits folgt sie einem korporatistischen Bauplan: selbstständig als eingetragener Verein; staatsnah, aber keine Behörde oder staatliche Agentur; wirtschaftsfreundlich, aber kein marktwirtschaftlicher Akteur; in diesem Sinne zwischen Staat und Markt. Andererseits ist sie durch das sogenannte Harnack-Prinzip gekennzeichnet, eine ausgeprägt personenzentrierte Leitungsstruktur, die dem Direktor, später auch der Direktorin ein sehr hohes Maß an Freiheit, an Dispositionsmacht und Verantwortung zubilligt. Diese Grundstruktur

---

## JÜRGEN KOCKA

ist emeritierter Professor für Geschichte der industriellen Welt an der Freien Universität Berlin. Er war Präsident des Wissenschaftszentrums Berlin für Sozialforschung. Zusammen mit Carsten Reinhardt und Jürgen Renn leitete er von 2014 bis 2022 das Forschungsprogramm „Geschichte der Max-Planck-Gesellschaft (GMPG)“.

---

hat sich bemerkenswerterweise über mehr als ein Jahrhundert erhalten, trotz Änderungen im Einzelnen. Während das erste Strukturelement typisch für die Bundesrepublik ist und sich auch in anderen Lebensbereichen findet, ist das Harnack-Prinzip untypisch für die Bundesrepublik der Gegenwart, in gewissem

Sinn unzeitgemäß und insofern geeignet, ein Alleinstellungsmerkmal der MPG zu definieren. Jedes der beiden Merkmale ist mit gewissen Nachteilen verbunden, zugleich jedoch äußerst vorteilhaft: als Bedingung der Leistungsfähigkeit und der Erfolge der MPG. Es lohnt sich, beide beizubehalten und vorsichtig weiterzuentwickeln. In ihrem ersten Jahrzehnt unter Präsident Hahn war die MPG in ihren Zielsetzungen, in ihrem Leitungspersonal, organisatorisch und im elitären Selbstverständnis vor allem eines: eine Fortsetzung der KWG. Auch im Übergang zur MPG gab es keinen wirklichen Bruch, sondern viel Kontinuität. So wie in Wirtschaft und Gesellschaft Westdeutschlands überhaupt.

Aber: Die Alliierten erzwangen nicht nur den Namenswechsel, weg von Kaiser Wilhelm hin zu Max Planck. Sie verboten der neuen Organisation auch jede Art militärisch nutzbarer Forschung, was deren Richtungsentscheidungen beeinflussen sollte, etwa weg von Teilen der Kernforschung und hin zur Betonung anderer Gebiete, beispielsweise der Astrophysik, die bald ein Erfolgsgebiet der MPG wurde. Auch verlangten sie von der MPG, weniger industrienaher Forschung zu betreiben als früher die KWG. Diese Forderung unterstützte die auch intern gewünschte Festlegung der MPG auf Grundlagenforschung als Markenzeichen.

Wie stark die MPG-Entwicklung von allgemeinen zeitgeschichtlichen Bedingungen abhing, das zeigte sich auch später, so in den Zäsuren von 1972 und 1990 / 91. 1972 fand nicht nur ein Wechsel im Präsidentenamt statt. Rückblickend beschrieb der neue Präsident, Reimar Lüst, dass sich zum Zeitpunkt seiner Wahl die MPG „in Aufruhr“ befand. Sie hatte mit den Ausläufern der Achtundsechziger-Bewegung zu tun, mit der Forderung nach Mitbestimmung, die von Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern, vor allem Assistenten, im Innern erhoben und in heftigen öffentlichen Debatten von MPG-kritischen Medien bekräftigt, wohl auch von der amtierenden sozialliberalen Regierung – mehr Demokratie wagen! – unterstützt



wurde. In einer kontroversen Hauptversammlung in Bremen gelang schließlich die Verabschiedung einer neuen Satzung, die ein Stück Mitbestimmung in der MPG verankerte, allerdings auf Mitberatung reduziert und in wesentlich geringerem Ausmaß, als es vielfach gefordert und beispielsweise an den Universitäten durchgesetzt wurde.

Vor allem aber ging 1972 in der MPG mehr als ein Jahrzehnt des rasanten Wachstums zu Ende, und es begannen anderthalb Jahrzehnte schrumpfender, stagnierender oder zumindest kaum noch wachsender Haushalte. Die MPG musste lernen, intern Ressourcen umzuverteilen, wenn sie denn neue Forschungen beginnen und inhaltliche Stagnation vermeiden wollte – was ihr bemerkenswert gut gelang. Diese Trendwende resultierte aus der nun viel sparsameren Zuwendungspolitik der Regierungen in Bund und Ländern sowie letztlich aus der insgesamt krisenhaft angespannten gesamtwirtschaftlichen Entwicklung.

## „In ihrem ersten Jahrzehnt war die MPG vor allem eines: eine Fortsetzung der KWG.“

JÜRGEN KOCKA

1990 avancierte die MPG zu einer Hauptakteurin der inneren Vereinigungspolitik, soweit sie sich auf die Wissenschaften bezog. Es entsprach ihren Präferenzen, dass die deutsche Wiedervereinigung vor allem als Ausdehnung der bundesrepublikanischen Ordnung auf die beitretenden neuen Länder und nicht als Aushandlung einer neuen Ordnung zwischen West und Ost stattfand: So konnte die MPG ihre eigene Struktur fast unverändert bewahren und auf den östlichen Landesteil ausdehnen. Sie akzeptierte die ihr übertragene Aufgabe, in einem Zeitraum von zehn Jahren

im Ostteil des Landes eine ähnliche Dichte von Max-Planck-Instituten entstehen zu lassen wie im Westen der Republik. Sie akzeptierte auch – wie schon in früheren Jahren – politische Interventionen in die Entscheidungen darüber, an welchen Orten die neuen Institute entstehen sollten. Aber sie war stark genug, weitere Einschränkungen ihrer Entscheidungsfreiheit zurückzuweisen. So setzte sie durch, über die Themen und Inhalte wie über die Rekrutierung der Institutsleitungen weiterhin ausschließlich selbst zu entscheiden, und zwar nach ihren eigenen etablierten Regeln. Sie verweigerte auch fast durchweg die Übernahme bestehender Einrichtungen – ein kontroverses Politikum im Vereinigungsgeschehen.

Im Ergebnis entstanden in einem Jahrzehnt achtzehn neue Institute in den östlichen Bundesländern, weitgehend finanziert durch neu zur Verfügung gestellte Mittel, teils aber auch durch interne Umverteilung von West nach Ost. Im Westen war nach 1990 innerhalb weniger Jahre jede zehnte Plan-

deutsche Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler wurden jedoch kaum in die Leitungsebenen rekrutiert, eine bis heute kontrovers diskutierte Praxis, die aber dem durch und durch asymmetrischen Muster der deutschen Vereinigungspolitik entsprach.

Diese Beispiele mögen genügen, um zu zeigen, wie sehr die Entwicklung der MPG durch die Umstände der allgemeinen Zeitgeschichte bedingt war. Sie zeigen aber auch, dass die MPG den auf sie von außen einwirkenden Initiativen und Zwängen immer auch ihre eigene Position entgegengestellt hat und nie Spielball übergeordneter historischer Prozesse war. Ungleich schwerer ist es, die Ein- und Auswirkungen der MPG auf Wirtschaft, Gesellschaft und Politik und damit ihre zeithistorische Bedeutung festzustellen.

Dass die MPG als Institution der Grundlagenforschung – anders als die KWG nach ihrer Gründung 1911 – überwiegend aus öffentlichen Mitteln finanziert wird, lässt sich als Anerkennung für die wirtschaftlich-gesellschaftlich-politische Bedeutung von Wissenschaft in der Wissensgesellschaft des 20. und 21. Jahrhunderts lesen. Insbesondere mit der wichtigen Rolle wissenschaftlicher Forschung für die Wettbewerbsfähigkeit und den Wohlstand des Landes (oder einzelner Regionen) wurden und werden die Aufgaben und die Förderungswürdigkeit der MPG begründet, und das zweifellos mit voller Berechtigung, auch wenn – oder gar weil – die MPG auf Grundlagenforschung konzentriert ist. Denn Grundlagenforschung konnte und kann als Innovationstreiber wirken, überdies hat ihre offizielle Beschwörung enge Beziehungen zwischen einzelnen Instituten und einzelnen Industrieunternehmen nie verhindert.

Beispiele sind das Max-Planck-Institut für Kohlenforschung, das durch die Entdeckung eines Katalysators zur Massenproduktion von Polyethylen enge Verbindungen zur frühen Kunststoffindustrie hatte, ebenso das Max-Planck-Institut für Eisenforschung und generell die Materialwissenschaften, zeitweise die Kern-

→

energie und bis heute die Lebenswissenschaften. Insgesamt hat die offene Bejahung wirtschaftsbezogener Leistungen in der MPG über die Jahrzehnte zugenommen, praktisch wie auch rhetorisch, vor allem seit den 1990er-Jahren. Frühere Vorbehalte gegenüber der marktwirtschaftlichen Anwendung wissenschaftlicher Erkenntnisse traten dabei zurück.

Dass sich die Bundesrepublik nach dem Zweiten Weltkrieg vorbehaltlos der westlichen politischen Kultur geöffnet und sich im Westen verankert hat, gilt nicht nur in der Geschichtswissenschaft als eine wichtige Säule ihrer relativ erfolgreichen Geschichte bis heute. Durch ihre frühen und intensiven Kontakte – über Studium, Austausch, Mobilität und Kooperation –

schaftlichen Aufschwung seit den späten 1940er-Jahren versprochen prestigereiche Spitzenleistungen der Wissenschaft diesen Bedarf ein Stück weit zu decken. Solche Spitzenleistungen verkörperte die MPG: mit ihren großen Namen, ihren international anerkannten Erfolgen und ihrer Erinnerungspolitik, die die ruhmreiche Tradition deutscher Wissenschaft in der KWG so sehr betonte, wobei die Beschäftigung mit deren Rolle im Nationalsozialismus und mit den zerstörerischen Potenzialen moderner Wissenschaft nur gestört hätte; all dies wurde sehr lange verdrängt.

## „Die Erwartungen an die Wissenschaft werden größer, sich gesellschaftlich-politisch zu positionieren.“

JÜRGEN KOCKA

50 Auch durch Leistungen für Staat und Politik hinterließ die MPG zeitgeschichtliche Spuren, so zum Beispiel durch ihre vielfältigen Beratungen. Die rechtswissenschaftlichen Max-Planck-Institute stellen mit ihrer ausgeprägten rechtsvergleichenden Kompetenz den Regierungen und Parlamenten begehrte juristische Expertise in vielen innen- und außenpolitischen Bereichen zur Verfügung. In den ersten Jahrzehnten der Bundesrepublik übernahm die MPG zeitweise quasi diplomatische Aufgaben, wenn volle diplomatische Beziehungen noch nicht etabliert oder schwierig waren, so zu Israel vor 1965. Sie wirkte in mancher Hinsicht als Vorreiter beim Aufbau wissenschaftlicher, aber auch politischer Beziehungen über Länder- und Systemgrenzen hinweg. Die Wissenschaft war und ist zudem neben der Wirtschaft ein wichtiger Treiber der europäischen Integration. Die MPG nahm früh und regelmäßig an den großen einschlägigen Projekten der Europäischen Gemeinschaft teil, etwa an Euratom, an der European Space Agency (Esa) oder heute an den Ausschreibungen des European Research Council.

vor allem mit US-amerikanischen, aber auch mit westeuropäischen Wissenschaftlern und Wissenschaftsinstitutionen haben die MPG und einzelne ihrer Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler zu dieser grundsätzlichen Westorientierung der Bundesrepublik erheblich beigetragen – bevor die beschleunigte Globalisierung seit den 1990er-Jahren zu einer breiteren, weltweiten Internationalisierung der MPG-Beziehungen beitrug. Jetzt ändert sich die Konstellation durch den Ukraine-Krieg erneut.

Auch in nationalgeschichtlicher Hinsicht ist die Rolle der MPG erwähnenswert. Nach 1945, nach der tiefen Niederlage im Krieg, der katastrophalen Selbstdiskreditierung durch die nationalsozialistischen Verbrechen und angesichts der Teilung des Landes konnte sich die junge Bundesrepublik nicht auf eine intakte nationale Tradition berufen, um ihre Identität zu stärken, Selbstbewusstsein zu entwickeln und Anerkennung zu finden. Sie musste nach Wegen suchen, als gleichberechtigtes Mitglied in den Kreis der Staaten zurückzukehren. Neben dem Schulterchluss mit den westlichen Ländern und dem wirt-

Liest man die Selbstdarstellungen der Max-Planck-Präsidenten, die Reden der Bundespräsidenten und anderer Spitzenpolitiker wie auch die Kommentare inländischer und ausländischer Medien aus den frühen Jahrzehnten der Bundesrepublik, dann spürt man etwas von der Hochschätzung der MPG als Ort prestigereicher, zivilisierter und zukunftsfähiger Wissenschaft, wenn auch eher zwischen den Zeilen als *expressis verbis*. Solche Ober- und Zwischentöne nimmt man auch in der jüngsten Zeit wahr, wenn man verfolgt, wie die nach Deutschland geholten Nobelpreise öffentlich und medial gefeiert werden – Nobelpreise, mit denen Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler der MPG bekanntlich häufig und regelmäßig ausgezeichnet werden. Der MPG kommt all dies zugute. Doch sie muss es sich durch kontinuierliche Spitzenleistungen verdienen. Dies gelingt. Die zeitgeschichtliche Wirksamkeit hat allerdings eine Grenze: Die MPG beherbergt vor allem Natur- und Lebenswissenschaften, aber auch Rechts-, Geistes- und Sozialwissenschaften. Sie fördert gern interdisziplinäre Konstellationen, denn sie präferiert Forschungsgebiete an Schnittstellen, welche an den Universitäten nicht, noch nicht oder aber nicht so gut wahrgenommen werden. Eigentlich ist sie damit für die wissenschaftliche Behandlung großer Gegenwarts- und Zukunftsprobleme bestens gerüstet, auch für die Diskussion entsprechender Fragen und Antworten in der zivilgesellschaftlichen Öffentlichkeit.



Neuanfang an belastetem Ort: Die Max-Planck-Gesellschaft wurde 1948 im „Kameradschaftshaus“ der ehemaligen Aerodynamischen Versuchsanstalt der KWG gegründet, die massiv Militärforschung für das NS-Regime betrieben hatte. Als Vertreter des Landes Niedersachsen nahm der damalige Kultusminister Adolf Grimme teil, der links neben Otto Hahn, dem ersten Max-Planck-Präsidenten, steht.

51

Die MPG bleibt jedoch in diesen Hinsichten sehr zurückhaltend. Nach dem Scheitern des Starnberger Max-Planck-Instituts zur Erforschung der Lebensbedingungen der wissenschaftlich-technischen Welt 1981 und dem Rückbau des sehr politiknah, sozial engagiert und multidisziplinär arbeitenden Berliner Bildungsforschungsinstituts, ebenfalls um 1980, hörten Max-Planck-Wissenschaftlerinnen und -Wissenschaftler zwar nicht auf, Politik zu beraten. Auch vermochten sie es immer wieder, zentrale gesellschaftliche Themen wie Ernährung, Gesundheit, Um-

welt, Energie, Europa oder Kapitalismus in wissenschaftliche Problemstellungen zu transformieren und zu bearbeiten. Aber im Bemühen um Objektivität und um normative Neutralität wurden wissenschaftliche und politische Argumentationen relativ scharf getrennt. Auch deshalb wurde darauf verzichtet, sich zu großen Fragen der Zeit öffentlich zu positionieren. Selbst bei der Erdsystemforschung, seit den 1970er-Jahren eines der Leuchtturmprojekte der MPG, blieb die öffentlichkeitswirksame Rolle lange auf Paul Crutzen beschränkt. Initiativen, die ein politi-

sches Engagement mit sich gebracht hätten, wie der Vorschlag der Gründung eines Welthunger-Instituts, fanden keine hinreichende Unterstützung.

Hier kann nicht weiter diskutiert werden, ob diese Zurückhaltung die notwendige Bedingung fruchtbarer wissenschaftlicher Arbeit in einer normativ heterogenen Gesellschaft wie der unseren darstellt oder aber einen Akt der Selbstbescheidung, der der vollen Ausnutzung wissenschaftlicher Potenziale übervorsichtig entgegensteht. Gegenwärtig werden in der Öffentlichkeit die Erwartungen an die Wissenschaft größer, sich gesellschaftlich-politisch zu positionieren. Die MPG wendet sich drängenden großen Fragen zu, etwa mit den geplanten Forschungen zum Anthropozän im MPI für Geoanthropologie in Jena. Man wird sehen, wie weit die Distanzierung der Forschung von direkten gesellschaftlichen Einflüssen beibehalten werden kann.

---

### DAS FORSCHUNGSPROGRAMM „GESCHICHTE DER MAX-PLANCK-GESELLSCHAFT“

Zwischen 2014 bis 2022 rekonstruierten unabhängige Historikerinnen und Historiker die Entwicklung der MPG zwischen 1948 und 2002. Dabei ordneten sie die Geschichte der MPG in die Zeitgeschichte der Bundesrepublik im Zusammenhang europäischer und globaler Entwicklungen ein.

---

←

# HUNGER IST KOPFSACHE

TEXT: NORA LESSING

52 Appetit verspüren, einen Pudding holen, ihn genießen und sich noch einen nehmen: Eine Vielzahl elektrischer und chemischer Signale sorgen dafür, dass der Körper und das Gehirn in Fragen der Ernährung gemeinsame Sache machen. Welche Folgen diese „Absprachen“ haben, untersuchen Marc Tittgemeyer und sein Team am Max-Planck-Institut für Stoffwechselforschung in Köln.

Auf das rechte Maß kommt es an. Diese Philosophie liegt nicht nur fernöstlichen Weisheiten zugrunde, sondern auch dem Bestreben unseres Körpers, seinen Stoffwechsel in der Balance zu halten. Im Optimalfall werden Verhalten und Stoffwechsel präzise angepasst, sodass Blutzucker, Sauerstoffsättigung und andere Werte nicht übermäßig schwanken. Wie das funk-

tioniert und welche Rolle genau das Gehirn dabei spielt, ist bislang jedoch nur wenig untersucht. Die Arbeitsgruppe von Marc Tittgemeyer am Max-Planck-Institut für Stoffwechselforschung möchte dies ändern. Dafür bietet der Neurowissenschaftler und Stoffwechselexperte Testpersonen unterschiedliche Nahrungsmittel an, lässt Patienten vor dem Essen diffizile Verhaltensaufgaben absolvieren und misst Blutwerte und die Aktivität von Nervenzellen im Gehirn.

Tittgemeyer betrachtet ein Foto auf dem Bildschirm in seinem Büro. Es wurde 1976 am Strand von Brighton aufgenommen. Hunderte Menschen in Bikinis und Badehosen lassen sich die Sonne auf den Bauch scheinen. „Dieses Foto hat mich sehr beeindruckt, denn es fällt einem sofort auf: Die Menschen sind alle dünn. Fünfzig Jahre später würden die Menschen auf dem Bild anders aussehen.“

Heute sind sechsmal mehr Menschen fettleibig als in den 1970er-Jahren. In den OECD-Ländern sind inzwischen sogar rund die Hälfte der Erwachsenen und jedes sechste Kind übergewichtig, Tendenz steigend. Die Folgen sind alles andere als harmlos: Sie reichen von Kurzatmigkeit und Gelenksbeschwerden bis zu Bluthochdruck, Diabetes und Herz-Kreislauf-Erkrankungen. Was läuft da schief?

## Stoffwechsel im Gleichgewicht

Ausgeglichenheit ist für den Körper das oberste Gebot. Unterschiedliche Signale verraten ihm, ob der Energie- und der Wasserhaushalt noch im Gleichgewicht sind. Wenn ja, melden Sensoren dies dem Gehirn. Falls nicht, reagiert der Körper mit Hun-



# WISSEN AUS

— BIOLOGIE & MEDIZIN



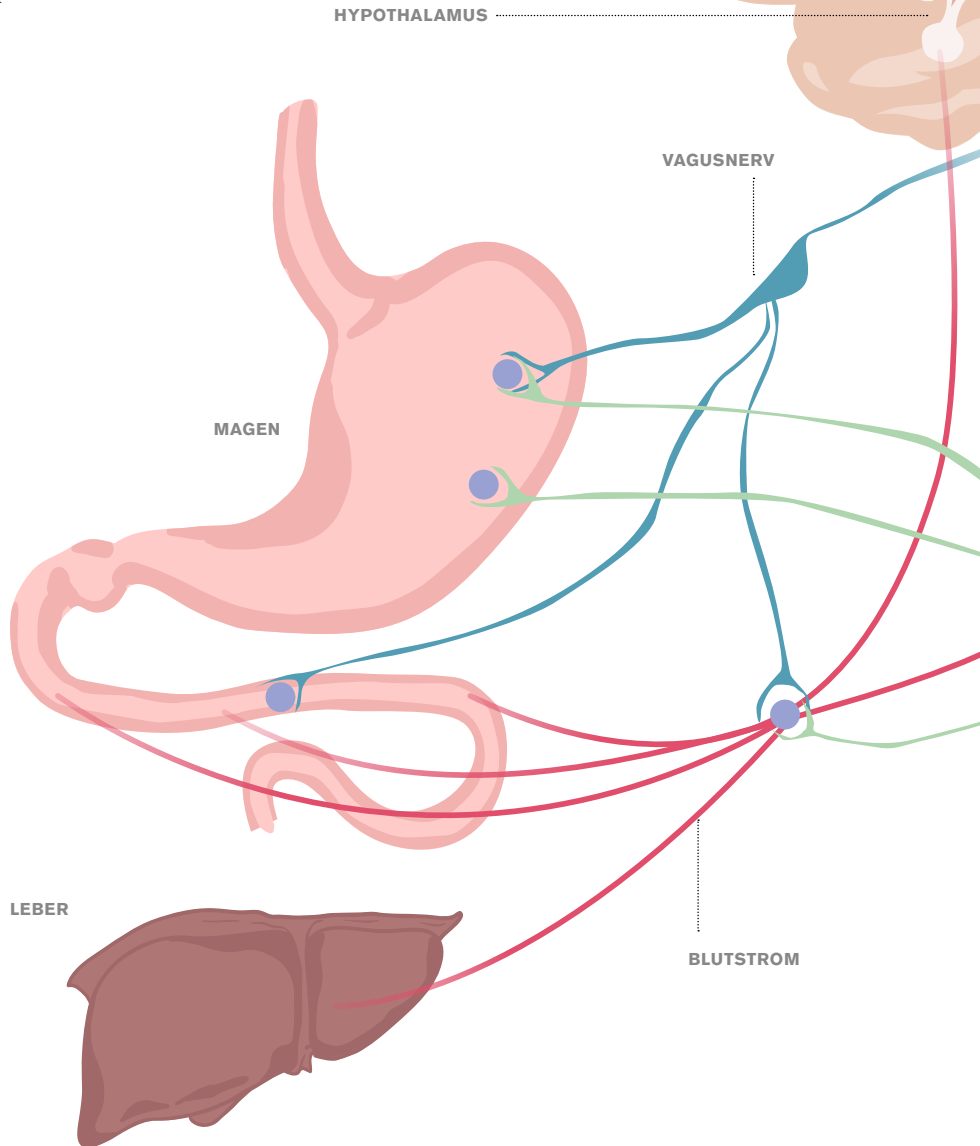
Süß und fettig – eine Kombination, die von Natur aus in der Nahrung nur selten vorkommt. Die moderne Ernährung ist dagegen voll davon, mit fatalen Folgen für unsere Gesundheit.

ger oder Durst. Ein Beispiel: Druckempfindliche Zellen im Magen signalisieren, wenn dieser voll ist. Das Gehirn erzeugt daraufhin ein Sättigungsgefühl, das uns davon abhält, zu viel zu essen. Andere Signale dienen dagegen dazu, Reserven zu bilden. Sie können den um Ausgleich bemühten Kräften ein Schnippchen schlagen, denn sie treiben uns dazu, mehr Kalorien aufzunehmen, als gerade benötigt werden.

## Anpassung an Mangel

Wer die übergewichtige Gegenwart verstehen will, muss sich mit der Vergangenheit befassen. Genauer gesagt: mit der Evolutionsgeschichte des menschlichen Stoffwechsels. Im Wesentlichen funktionieren unsere Gehirne und Körper nämlich nicht anders als die unserer Vorfahren. Und die badeten nicht etwa in Zucker oder bedienten sich an Schokoriegelbäumen, sondern mussten in Zeiten des Mangels nicht selten darben. Auf diese Lebensbedingungen hat sich unser Stoffwechsel im Lauf der Entwicklung eingestellt. „Die Evolution hat Gehirn und Körper gelehrt, dass es nicht jederzeit etwas zu essen gibt. Wenn dann mal Nahrung im Überfluss vorhanden ist, sollte man sich den Bauch voll schlagen, um für magere Zeiten gewappnet zu sein“, erklärt Tittgemeyer. Sättigungssignale können dann beispielsweise durch die Aktivierung unseres Belohnungssystems überschrieben werden, auch wenn der Magen bereits voll ist. Dabei spielt der Neurotransmitter Dopamin eine wichtige Rolle. Ein weiteres Signalsystem schätzt den Energiegehalt einer Mahlzeit und stimmt den Körper darauf ein, noch ehe der erste Happen im Mund landet. Daran beteiligt sind unter anderem die sogenannten Hungerneuronen – Nervenzellen, die im Hypothalamus des Gehirns sitzen. „Wenn wir satt sind, feuern diese Zellen nur ganz langsam vor sich hin. Bei Hunger aber sind sie extrem aktiv“, erklärt Marc Tittgemeyer.

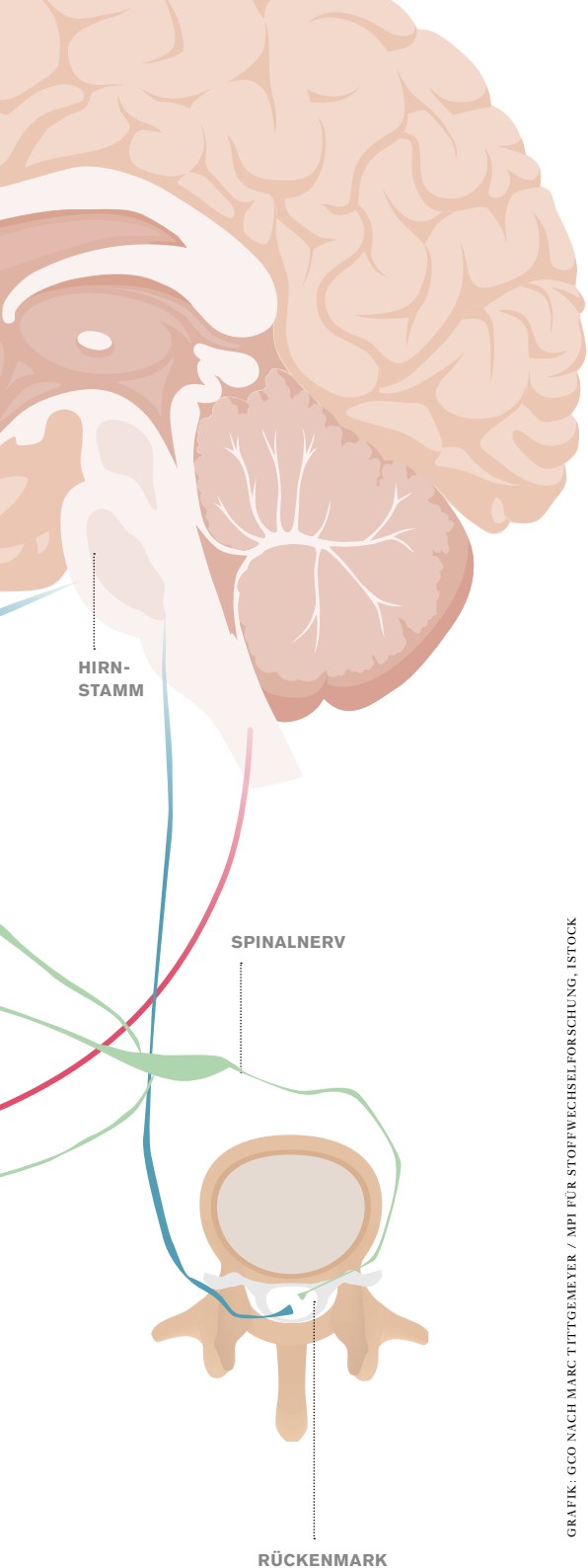
Schaltstellen des Stoffwechsels: Über Nervenbahnen im Vagusnerv und im Rückenmark kommuniziert das Gehirn mit dem Verdauungstrakt. Hormone, die im braunen Fettgewebe, im Magen und in der Bauchspeicheldrüse produziert werden, regulieren ebenfalls die Energiebalance des Körpers.



Von Mäusen ist bekannt, dass die Hungerneuronen sich sofort beruhigen, wenn die Tiere an einem Stück Schokolade knabbern. Die Nervenzellen verstummen jedoch auch, wenn die Tiere die Schokolade nur riechen, aber nicht fressen können. Kommt der Snack dann nicht im Mäusemagen an, fahren die Neuronen ihre Aktivität

nach einer Weile wieder hoch. „Das zeigt: Der Körper – und das gilt für Mäuse wie für Menschen – erwartet von Nahrungsmitteln einen bestimmten Kaloriengehalt und bereitet sich entsprechend darauf vor.“

Welche Rolle spielen diese im Lauf der Evolution entstandenen Stoffwech-



GRAFIK: GCO NACH MARC TITTEMEYER / MPI FÜR STOFFWECHSELFORSCHUNG, ISTOCK

selsignale bei der weltweit beobachteten Zunahme des Körpergewichts? „Dazu gab es viele Vermutungen: vom Wegfall körperlicher Arbeit bis hin zur These, dass wir heute mehr essen würden als früher“, sagt Marc Tittgemeyer. „Inzwischen wissen wir: Der wichtigste Grund für die drastische Zunahme von Übergewicht besteht

darin, dass wir heute anders essen als früher.“ Fertigprodukte zum Beispiel tricksen die Hungersignale des Körpers gleich auf mehrere Arten aus. Zum einen vereinen sie häufig viele Kalorien auf wenig Masse: So enthalten 100 Gramm Fertigpizza etwa fünfmal mehr Kalorien als 100 Gramm Apfel. Ein Stoffwechselsignal, das uns die Portionsgröße entsprechend reduzieren lässt, besitzen wir aber nicht. Und auch die Drucksensoren in unserem Verdauungstrakt können uns hier nicht helfen, denn sie können ja nicht zwischen Äpfeln und Pizza unterscheiden. Hinzu kommt, dass die Kombination aus Proteinen, Zucker und Fetten in Fertigprodukten mehrere Signalwege gleichzeitig anspricht, die alle das Belohnungssystem auf unterschiedlichen Wegen aktivieren. Die Belohnungsreize potenzieren sich dadurch und werden entsprechend stark empfunden.

## Süßstoffe können hungrig machen

Auch Süßstoffe können ein Problem sein. Eigentlich sind sie dazu da, durch den Ersatz von Zucker Kalorien zu sparen. Doch unser inneres Kalorienvorhersageprogramm macht uns hier einen Strich durch die Rechnung: „Wenn der Körper an Kaffee mit Zucker gewöhnt ist, erwartet er eine gewisse Kalorienmenge. Also bereitet er sich darauf vor und erhöht zum Beispiel den Insulinspiegel“, erklärt Tittgemeyer. „Wenn dann wider Erwarten gar kein Zucker kommt, reagiert der Körper mit Hunger. So kann es passieren, dass Süßstoffe unseren Kalorienkonsum in die Höhe treiben, obwohl sie eigentlich das Gegenteil erreichen sollten.“

Ein weiteres Beispiel dafür, wie moderne Lebensmittel unseren Stoffwechsel aus der Balance bringen können, ist die rauschhafte Wirkung des Nährstoffduos Zucker und Fett. Marc Tittgemeyer und sein Team haben herausgefunden, warum wir Lebensmitteln wie Eis, Butternudeln und

Sahnetorte kaum widerstehen können. Die Forschenden präsentierten Testpersonen Bilder von Nahrungsmitteln, die alle denselben Kaloriengehalt besaßen, aber unterschiedliche Makronährstoffe enthielten. Einige der Nahrungsmittel waren besonders reich an Zucker, andere an Fetten und wieder andere an einer Kombination aus beidem. Entsprechend ihren Vorlieben sollten die Testpersonen den Lebensmitteln einen Geldwert verleihen. Den höchsten Wert gaben sie den Nahrungsmitteln, die viel Zucker und Fett enthielten.

Der Grund: Wir können den Belohnungsreizen nicht widerstehen, die unser Gehirn ausschüttet, wenn wir Zucker oder Fett essen. Die jeweiligen Signalwege verlaufen auf unterschiedlichen Bahnen vom Verdauungstrakt bis ins Gehirn. Die Kölner Forschenden konnten zeigen, dass beide Wege am Ort der Belohnungsverarbeitung ankommen: im Mittelhirn. Und dort entfalten sie durch die Ausschüttung von Dopamin eine unerhörte Wirkung. „Zucker- oder fettreiche Nahrungsmittel bewirken im Mittelhirn die Ausschüttung von Dopamin. Wenn ein Lebensmittel beides zugleich enthält, potenziert sich dieser Effekt“, so Tittgemeyer. „Man nennt das auch superadditiv.“ Nudeln oder Sahnesauce allein machen unser Gehirn also glücklich, doch Nudeln in Sahnesauce versetzen es regelrecht in Euphorie. Warum das so ist, bleibt jedoch rätselhaft. In der Natur gibt es nämlich nur sehr wenige Nahrungsmittel, die Zucker und Fett zugleich in großen Mengen enthalten – zum Beispiel Muttermilch. Sie ist unser erstes Nahrungsmittel und besitzt gleichzeitig eine hohe soziale Bedeutung für uns. Vielleicht sind wir deshalb für diese Nährstoffkombination so empfänglich. Beweisen lässt sich diese Theorie aber nicht ohne Weiteres.

Mithilfe eines Positronen-Emissions-Tomografen können die Forschenden Veränderungen von Stoffwechselprozessen messen und beobachten, welche Belohnungsreaktionen Nahrungsmittel im Gehirn hervorrufen, bei

spielsweise in Form fett- und zuckerreicher Milchshakes. Ein solcher Drink verleiht schon beim ersten Schluck einen Dopaminkick. Sobald der Magen etwa fünfzehn Minuten später beginnt, den Shake zu verdauen, wird der Botenstoff ein zweites Mal ausgeschüttet. „Das Signal aus dem Magen läuft dabei über Nervenzellnetzwerke im Gehirn, die Motivation und Lernverhalten steuern. Sie verknüpfen den Milchshake mit Belohnung und schaffen so die Voraussetzung dafür, dass wir beim nächsten Mal wieder zu solch einem Shake greifen“, erklärt Tittgemeyer.

Was wir essen, beeinflusst also unsere Vorlieben und umgekehrt – ein Teufelskreis. Dies zeigt auch ein weiteres Experiment der Kölner Forschenden. In der Studie erhielten Probanden in ihrer Ernährung jeden Tag eine halbe Tasse fett- und zuckerreichen Pudding. Nach acht Wochen war klar: Die Probanden legten weder an Gewicht

zu, noch reagierten sie anders als zuvor auf körpereigene Botenstoffe. Der Pudding verstärkte allerdings die Vorlieben der Testpersonen für fett- und zuckerhaltige Speisen. Zudem lernten sie anders als die Vergleichsgruppe. Daraus schließen die Forschenden, dass der wiederholte Genuss energie-, fett- und zuckerreicher Nahrungsmittel zu einer Neuverdrahtung der Nervenzellnetzwerke im Gehirn führen kann – und dies ohne Veränderung des Körpergewichts oder des Stoffwechsels.

## Lernen mit dem Hirnstamm

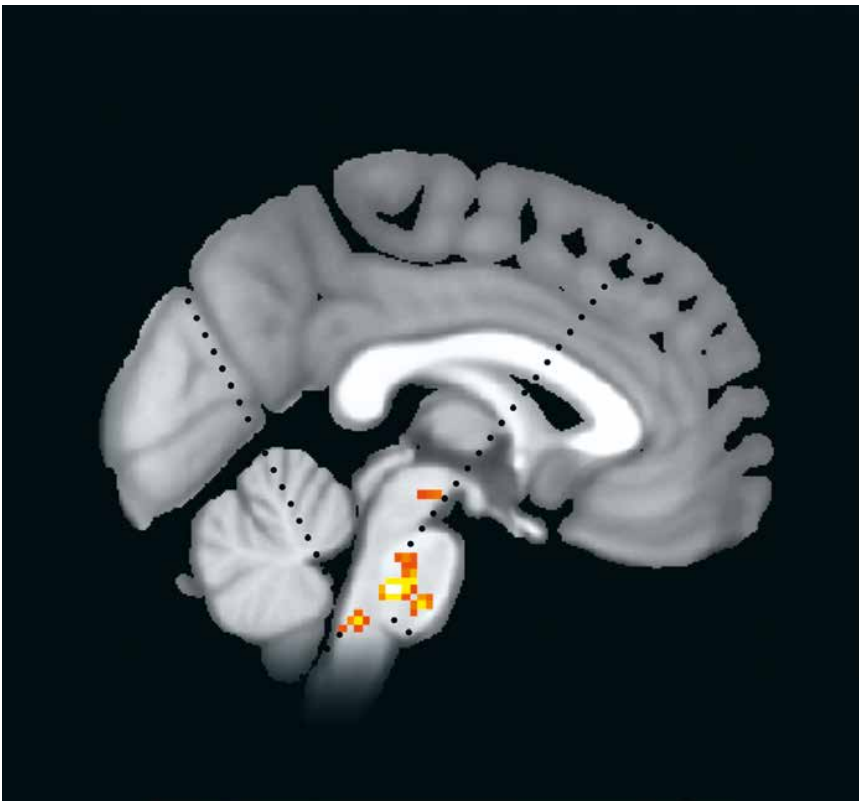
Führt fettreicher Pudding generell zu geistigem Abbau? „Sicher nicht“, erklärt Tittgemeyer, „aber offenbar ändert er die Art und Weise, wie Menschen lernen.“ Dazu muss man wissen, dass das Umlernen von Nah-

## AUF DEN PUNKT GEBRACHT

Ein Grund für die weltweite Zunahme von Übergewicht ist die Veränderung unserer Lebensmittel. Fett und Zucker machen Nahrung nicht nur besonders kalorienreich, sie verstärken sich auch gegenseitig in ihrem Belohnungseffekt auf unser Gehirn.

Fett- und zuckerhaltige Lebensmittel setzen im Gehirn besonders viel Dopamin frei. Dies beeinflusst Lernverhalten und fördert die Vorliebe für solche Speisen.

Bei Mäusen lassen sich Essgewohnheiten und -vorlieben auch wieder ändern. Ob dies beim Menschen ebenso der Fall ist, ist noch unklar.



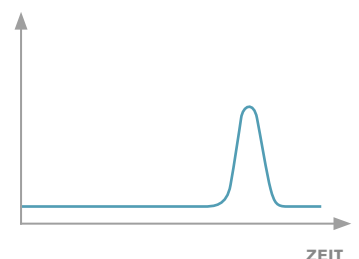
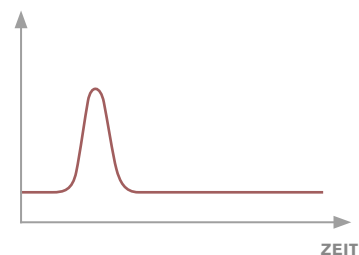
Der Vagusnerv ist eine Schaltstelle zwischen dem Gehirn und den inneren Organen. Er leitet unter anderem Informationen aus dem Verdauungstrakt ins Gehirn. Wird er künstlich stimuliert, werden Areale im Hirnstamm aktiv (gelb, rot).



Ein Milchshake setzt Dopamin frei: Im Positronen-Emissions-Tomografen lässt sich die Ausschüttung des Botenstoffes im Gehirn beobachten. Geschmacksrezeptoren im Mund lösen sofort nach dem Genuss die erste Dopamin-Welle aus, höhere Gehirnareale etwas später die zweite.



DOPAMINFREISETZUNG



rungsmittelpräferenzen einen der ältesten Teile unseres Gehirns benötigt, den Hirnstamm. Veränderungen in diesem Areal beeinflussen unser gesamtes Empfinden und Verhalten.

Lassen sich einmal erlernte Essgewohnheiten wieder ändern? Marc Tittgemeyer zuckt die Achseln: „Das ist die Frage! In Experimenten mit Mäusen hat sich aber gezeigt, dass Essgewohnheiten nicht in Stein gemeißelt sind. Demzufolge klappt die Umstellung auf eine fettarme Ernährung, wenn die Tiere über einen längeren Zeitraum eine Niedrigfettdiät durchhalten.“ Wie lange ein Mensch eine solche Diät machen müsste, muss künftige Forschung zeigen.

Ob Fertiggerichte mit vielen Kalorien, unsere Schwäche für Zucker mit Fett oder gewohnheitsbedingte Leidenschaften: Ein Kalorienüberschuss kann viele Ursachen haben, und unser Gehirn belohnt uns dafür mit Glücksgefühlen. Die Folgen können schwerwiegend sein, denn ungesundes Essen und Übergewicht können krank machen. Typ-2-Diabetes ist so ein Fall: Bei dieser Erkrankung ist der Körper zunehmend unempfindlich gegenüber Insulin. Das Hormon hält vor allem die Zuckerkonzentration im Blut stabil. Die Unempfindlichkeit gegenüber Insulin führt dann dazu,

dass die Körperzellen den Zucker nicht mehr ausreichend aus dem Blut aufnehmen. Außerdem wirkt Insulin auch auf das Belohnungszentrum des Gehirns, indem es die Dopaminausschüttung hemmt. „Es werden folglich immer mehr Fett und Zucker für dieselbe Belohnungswirkung benötigt“, erklärt Marc Tittgemeyer.

Typ-2-Diabetiker müssen daher teilweise mehr Kalorien zu sich nehmen als Gesunde, um sich gut zu fühlen – und nehmen aus diesem Grund noch mehr zu. Das Übergewicht führt dabei auch zur Bildung von Entzündungsstoffen im Körper. Deren Wirkung: Sie hemmen Antrieb und Motivation. Wer einmal in solch einem Teufelskreis gefangen ist, kommt nur schwer wieder heraus.

## Medikamente allein reichen nicht

Sind moderne Medikamente vielleicht ein Ausweg? Besonders Wirkstoffe aus der Gruppe der sogenannten GLP-1-Rezeptorantagonisten machen seit kurzer Zeit Furore als Mittel gegen Übergewicht. Diese Medikamente regulieren Blutzucker und Insulin und verringern den Appetit. Weil sich der Magen langsamer ent-

leert, fühlt man sich schneller satt. Marc Tittgemeyer und sein Forschungsteam haben außerdem gezeigt, dass ein solcher Wirkstoff auch auf das Belohnungssystem im Gehirn wirkt. „Ich glaube allerdings nicht, dass man Übergewicht mit Medikamenten allein in den Griff bekommen kann. Ohne Verhaltensänderungen und Anpassung der Ernährungsgewohnheiten wird es nicht gehen“, so Tittgemeyer.

Die Forschung von Marc Tittgemeyer und seinem Team zeigt, dass unser Stoffwechsel nicht nur zu Übergewicht und den damit verbundenen Erkrankungen führen kann. Er ist auch an vielen weiteren Krankheitsbildern beteiligt. Das schließt auch Demenzen ein, eventuell sogar die Entstehung von Parkinson.

„Je mehr ich darüber lerne, desto besser verstehe ich, dass Übergewicht überhaupt nichts mit Willensschwäche oder fehlender Disziplin zu tun hat“, folgert Tittgemeyer. „Wenn der Stoffwechsel entgleist, ist es außerordentlich schwer, sich dagegen zu wehren. Es ist unser Körper, der uns das Essen diktiert.“ Wer wider besseres Wissen zum Schokopudding statt zum Salat greift, kann sich also bei seinem nach Dopamin süchtigen Mittelhirn bedanken.





FOTO: SVEN DÖRING FÜR MPG

Die untereinander verknüpften Nervenzellen des Gehirns dienen als Vorbild für künstliche neuronale Netzwerke, die ein Team am Max-Planck-Institut für Mathematik in den Naturwissenschaften erforscht.

# INTELLIGENZ MIT PLAN

TEXT: THOMAS BRANDSTETTER

Selbstlernende Algorithmen sind dabei, unsere Gesellschaft gehörig umzukrempeln. Doch allzu oft verstehen ihre Entwickler selbst nicht genau, wie sie funktionieren. Mit grundlegenden Theorien zum maschinellen Lernen wollen Forschende des Max-Planck-Instituts für Mathematik in den Naturwissenschaften nun Abhilfe schaffen.

FOTO: REED HUTCHINSON / UCLA



Guido Montúfar forscht am Max-Planck-Institut für Mathematik in den Naturwissenschaften und an der University of California in Los Angeles.

Lernfähige Algorithmen übernehmen immer mehr Aufgaben, denen bis vor Kurzem nur Menschen gewachsen schienen. Kaum ein Onlinedienst kommt ohne sie aus, und sei es nur, um Werbung zu schalten. Künstliche Intelligenz, kurz KI, übersetzt Texte oder schreibt sie gleich selbst, so wie

der Chatbot ChatGPT, der aus unzähligen im Internet verfügbaren Texten verblüffend sinnvolle Antworten auf beinahe beliebige Fragen erstellt. Künstliche Intelligenz versucht sich aber auch als Künstlerin und macht manches Fahrerassistenzsystem zu einem umsichtigeren Verkehrsteilnehmer als die Person am Steuer. Der aktuelle Höhenflug von KI lässt sich vor allem mit der Weiterentwicklung künstlicher neuronaler Netze erklären, die in vieler Hinsicht dem menschlichen Gehirn nachempfunden sind. Sie werden am Computer als tief verzweigte Netzwerke künstlicher Neuronen simuliert, deren Verbindungen sich dynamisch an neue Erfahrungen anpassen, um so Muster in Daten zu erkennen oder neue Verhaltensweisen zu erlernen. Und ähnlich wie im Gehirn ist auch bei seinen elektronischen Pendanten oftmals nur schwer nachvollziehbar, was in deren Tiefen genau vor sich geht. Zwar gibt ihnen der Erfolg recht, und für viele Zwecke mag es auch vollkommen ausreichen, sie schlicht als nützliche Blackbox zu betrachten. Um aber das enorme Potenzial der Technik noch weiter auszuschöpfen, halten Fachleute es für nötig, KI endlich auf das Fundament einer soliden Theorie zu stellen. So könnten sie im Detail verstehen, wie die Algorithmen lernen. Auch Guido

Montúfar und sein Team vom Max-Planck-Institut für Mathematik in den Naturwissenschaften und von der University of California, Los Angeles, arbeiten auf dieses Ziel hin.

59

„Wir untersuchen die mathematische Seite künstlicher neuronaler Netze“, erklärt der Forscher. Vieles sei bisher hauptsächlich auf einer praktischen Ebene entwickelt worden, während es an Theorien dazu oftmals gefehlt habe. „Da ist vieles einfach ausprobiert worden“, sagt Montúfar. „Und zum Teil waren die Leute dann selbst überrascht, dass es funktioniert hat.“ Gemeinsam mit seinen Kolleginnen und Kollegen arbeitet der Mathematiker jetzt an einer Theorie neuronaler Netze.

## Große Netze auch für wenige Daten

Im Wesentlichen sind es drei Aspekte, die für den aktuellen Siegeszug der künstlichen Intelligenz verantwortlich zeichnen. So können die Entwickler auf immer mehr Rechenleistung in Form verbesserter Hardware in immer größeren Rechenzentren zurückgreifen. Daher ließen sich immer größere neuronale Netze ins



Werk setzen, in denen heute unzählige künstliche Neuronen vernetzt sind. So wie es im Gehirn auf die Zahl und die Stärke der Synapsen, der Verbindungen zwischen den Nervenzellen, ankommt, sind auch bei einem künstlichen neuronalen Netz die Verknüpfungen entscheidend. So sollen es etwa bei GPT-3, einem Vorläufer von ChatGPT, 175 Milliarden Verknüpfungen sein – im menschlichen Gehirn sind es 100 Billionen. Auftrieb hat KI auch bekommen, weil aufgrund der voranschreitenden Di-

nigen Trainingsdaten sinnvolle Ergebnisse liefern können“, sagt Montúfar. Früher habe man geglaubt, die hohe Flexibilität großer Netze sei nur bei entsprechend großen Datensätzen zielführend. Denn naturgemäß sind große neuronale Netze auch sehr komplex. Und dies könnte, so die lange Zeit vorherrschende Überzeugung, leicht zu falschen Entscheidungen führen, wenn sie mit nur wenigen Daten trainiert werden. „Das war eine Art Mantra, das eigentlich auch mathematisch fundiert ist“, erklärt Guido Montúfar. „Doch die Theorie, auf der dieser Glauben beruhte, war unvollständig.“ In der Praxis habe man dann selbst ohne Theorie schon sehr bald beobachtet, dass neuronale Netze umso besser funktionieren, je größer sie sind.

So könnte man also durchaus auch argumentieren, dass es eigentlich keine so große Rolle spielt, warum genau ein Netz funktioniert – Hauptsache, es funktioniert. „Vor zehn Jahren waren tatsächlich recht viele Leute davon überzeugt, dass man keine Theorie brauche“, sagt Montúfar. Das mag daran gelegen haben, dass ein theoretisches Verständnis in manchen Fällen tatsächlich nicht unbedingt nötig ist. Eine mathematische Theorie zu entwickeln liegt nun mal nicht jedem, selbst wenn er erfolgreich KI-Algorithmen programmiert. Doch wer keine Theorie zur Hand hat, auf der er aufbauen kann, muss stattdessen eben vieles einfach ausprobieren. Das ist umständlich und kostet Zeit und Ressourcen. Man stelle sich nur einen Chemiker vor, der keine Ahnung hat von Elementen und Molekülen und auf gut Glück verschiedene Substanzen mischt. Außerdem könnte KI zunehmend auch in sensiblen Bereichen eingesetzt werden und etwa medizinische Diagnosen unterstützen oder aber Fahrzeuge autonom lenken. Da wüsste man schon gerne, wie genau sie ihre Entscheidungen trifft.

Darüber hinaus gibt es trotz all der beeindruckenden Erfolge künstlicher Intelligenz wahrlich noch genug Verbesserungsbedarf. Besonders beunruhigend sind zum Beispiel die Gefahren durch böswillige Angriffe etwa beim autonomen Fahren. Sie

können das KI-System, das Verkehrsschilder erkennt und interpretiert, austricksen und damit in der Folge Unfälle verursachen. Schon eine minimale, aber gezielte Veränderung an einem Schild kann unter Umständen dazu führen, dass das System anstelle einer tatsächlichen Beschränkung auf 80 Kilometer pro Stunde eine Beschränkung auf 200 Kilometer zu erkennen glaubt. Für das menschliche Auge hingegen wäre die Veränderung an dem Schild kaum zu bemerken. Doch warum kann ein künstliches neuronales Netz auf eine so fatal falsche Spur gebracht werden? „Um diese Frage zu beantworten und letztendlich solche Attacken zu verhin-

---

## AUF DEN PUNKT GEBRACHT

Wie künstliche neuronale Netze lernen, eine Aufgabe zu lösen, und welche Kriterien sie dabei anwenden, ist meist unklar. Das ist unter anderem bei Anwendungen von künstlicher Intelligenz in der Medizin oder bei der Bilderkennung für autonomes Fahren problematisch.

60 Eine Theorie künstlicher neuronaler Netze würde helfen, deren Entscheidungsfindung nachvollziehbar zu machen. Sie könnte außerdem die Suche nach geeigneten Algorithmen beschleunigen.

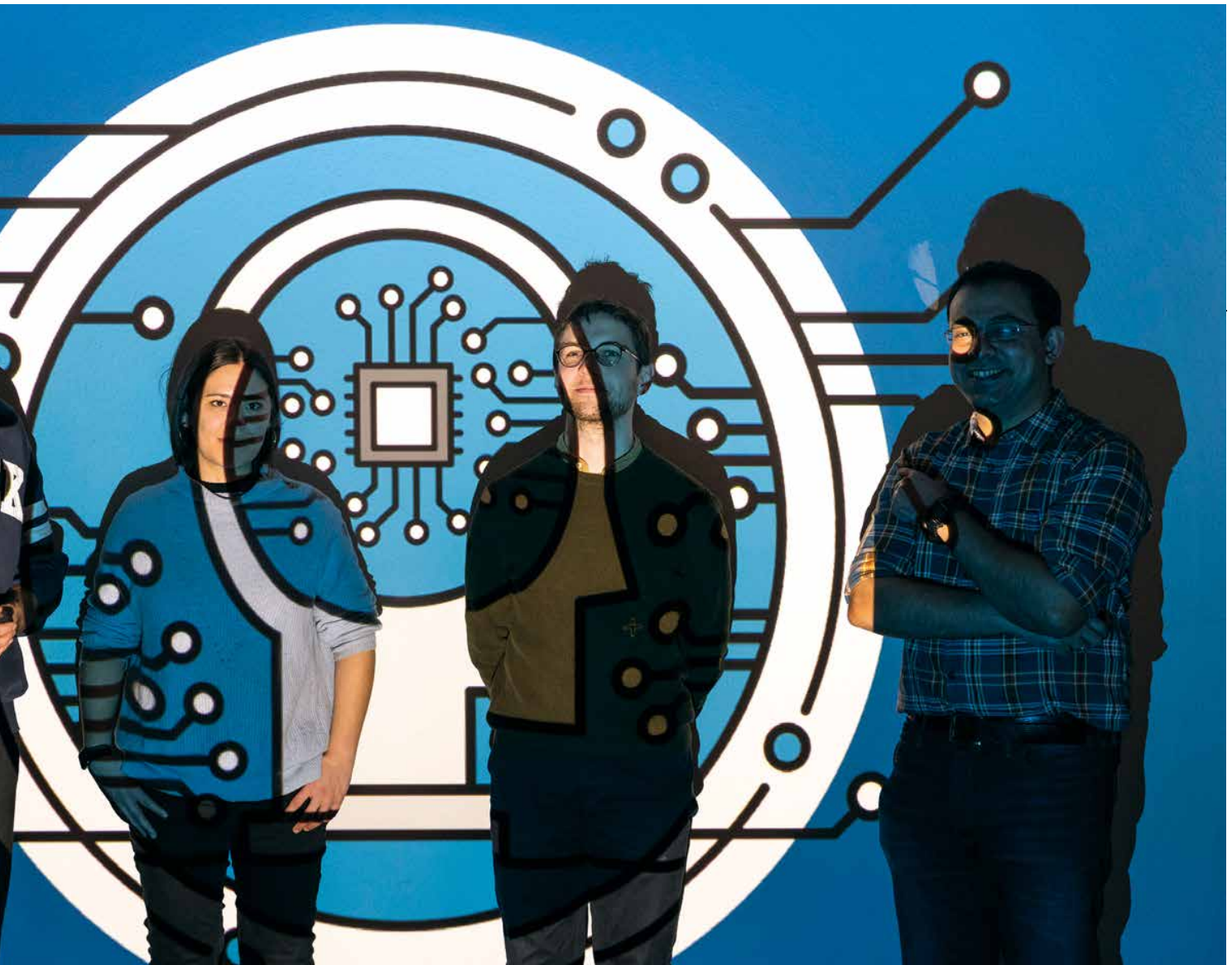
Beim Training neuronaler Netze werden mathematische Funktionen identifiziert, die ein Problem lösen. Im Normalfall sind dafür viele Funktionen geeignet, jedoch nicht alle gleich gut. Damit die optimale Funktion gefunden wird, sollte eine Theorie auch andere Eigenschaften der Funktionen berücksichtigen als nur ihre Fähigkeit, das Trainingsproblem zu lösen.

---

gitalisierung viel mehr Daten für das Training der künstlichen neuronalen Netze zur Verfügung stehen. Und schließlich bringt die weltweite Zusammenarbeit bei der Entwicklung neuer Algorithmen auch immer ausgefeiltere Software hervor. „Eine der Überraschungen in der Entwicklung von KI war zum Beispiel, dass große neuronale Netze auch mit relativ we-

FOTO: SVEN DÖRING FÜR MPG





dern, braucht es ein tiefer gehendes Verständnis über die Funktionsweise der Netze“, sagt Montúfar.

## Verständnis für mehr Datenschutz

Und auch beim Schutz der Privatsphäre liegt aufgrund unserer Unwissenheit noch vieles im Argen. So werden etwa Maschinen, die vorhersagen sollen, ob und wie schnell sich ein Patient in einem Krankenhaus erholen wird, vorher mit den Daten real existierender Patienten trainiert. „Diese Daten stecken also irgendwie in dem System

drin“, gibt Montúfar zu bedenken. „Und der Kunde, der dieses System gekauft hat, könnte versuchen, es aufzumachen und diese privaten Daten herauszulesen.“ Um garantieren zu können, dass so etwas nicht möglich ist, müsse man schon sehr genau wissen, was im Inneren eines solchen Systems vor sich geht.

Aktuell beschäftigt sich die Gruppe für Mathematical Machine Learning mit dem Phänomen, dass neuronale Netze bevorzugt Lösungen mit gewissen mathematischen Eigenschaften finden. „Auch wenn es mehrere Möglichkeiten gibt, wird sich das Netz letztlich meist für Lösungen mit

Erhellung für die künstliche Intelligenz: Johannes Müller, Marie-Charlotte Brandenburg, Pierre Bréchet und Pradeep Kumar Banerjee (von links) arbeiten an einer Theorie künstlicher neuronaler Netze, die helfen soll, die Funktionsweise von KI besser zu verstehen.

gewissen Eigenschaften entscheiden“, sagt Montúfar. „Und wir versuchen zu charakterisieren, wie diese Präferenzen genau aussehen.“ Den Zusammenhang veranschaulicht der Forscher, indem er die Suche nach einer geeigneten Lösung mit einer Wanderung durch eine Landschaft vergleicht. Das Netz beziehungsweise der Algorithmus, mit dem es arbeitet, beginnt seine Suche an einem vom





Musterlösungen: Die einzelnen Grafiken entsprechen unterschiedlichen Konfigurationen eines neuronalen Netzes, das etwa auf Bildern Tische identifizieren soll. Je größer die Zahl von Farbflächen in einer Grafik, desto komplexer ist die zugehörige Funktion, mit der das Netz die Aufgabe löst. Die Leipziger Mathematiker erforschen, von welchen Bedingungen die Komplexität der ermittelten Funktion abhängt.

den Ausgangspunkt der Suche nicht mehr länger dem Zufall zu überlassen, sondern dafür systematisch geeignete Bereiche zu wählen, wollen die Forschenden wissen, wie die Landschaft der Lösungen aussieht. „Wir haben in dem Bereich bereits viele Fortschritte gemacht“, sagt Montúfar. „Jetzt geht es darum, diese Erkenntnisse in eine präzise mathematische Theorie umzusetzen, die konkrete Vorhersagen über das Verhalten eines neuronalen Netzes unter verschiedenen Bedingungen ermöglicht.“

## Eine Theorie für schnelleres Training

Eine Rolle spielt dabei auch, dass Theorien zu komplexen Phänomenen oft zu stark vereinfacht werden und dabei wichtige Aspekte des eigentlichen Sachverhaltes verloren gehen. So sind mathematische Theorien zum Beispiel oft weniger kompliziert, wenn die künstlichen neuronalen Netze, die sie beschreiben, der Einfachheit halber als unendlich groß betrachtet werden. Doch auch wenn der Trend tatsächlich in Richtung immer größerer Netze geht, sind sie in Wirklichkeit natürlich trotzdem endlich. „Solche Vereinfachungen können große Probleme verursachen“, sagt Montúfar. Denn in den zwar riesigen, aber doch endlichen Netzen treten dann unvorhergesehene Effekte auf, die sehr signifikant sein können. „Wenn wir die verstehen und erklären könnten, könnten wir diese KI-Systeme in der Praxis viel schneller trainieren“, meint Montúfar. Und dies würde nicht nur sehr viel Strom und Geld sparen, sondern auch Zeit. Schließlich arbeiten die Supercomputer, auf denen diese Algorithmen laufen, oft wochen- oder gar monatelang.

Entwickler mehr oder weniger zufällig gewählten Ausgangspunkt. Deshalb neigt es dazu, Lösungen aufzuspüren, die sich in der Nähe dieses Punktes befinden. Das neuronale Netz ist dabei gewissermaßen in der direkten Umgebung der nahe liegenden Lösung gefangen. „Wir wollen nun verstehen, wie die Nachbarschaft um diese Lösung aussieht und warum das neuronale Netz da nicht herauskommt“, erklärt Montúfar.

Die Aufgabe der künstlichen Intelligenz könnte beispielsweise darin bestehen, einen Zusammenhang zwischen Daten zu Wohnflächen und Mietpreisen herzustellen und dafür eine geeignete

mathematische Funktion zu finden. Eine vernünftige Lösung würde nicht nur einfach aus einer Linie, genauer gesagt einer mathematischen Funktion, bestehen, die die einzelnen Datenpunkte möglichst gut miteinander verbindet. Um eine plausible Abhängigkeit eines mit zunehmender Wohnungsgröße kontinuierlich steigenden Mietpreises darzustellen, sollte diese Linie auch möglichst glatt sein, also keine Knicke aufweisen. „Ein geeigneter Bereich, um die Suche in der Landschaft der Lösungen zu starten, wären also alle Funktionen, die sehr glatt sind“, erklärt Montúfar. „Umgekehrt wäre es verrückt, nach Linien zu suchen, die total zackig sind.“ Um

Ein weiterer wichtiger Fokus der Arbeit von Montúfars Team liegt auf den Daten selbst, mit denen die Maschinen trainiert werden. Ähnlich wie bei lebendigen Gehirnen hat ihre Qualität erheblichen Einfluss auf die Entwicklung eines künstlichen neuronalen Netzes. So stellte sich zu Anfang der 1960er-Jahre in einer Studie mit jungen Katzen, die wegen eines Augenfehlers von Geburt an nur verschwommen sehen konnten, heraus, dass der Schaden irreparabel war. Denn selbst wenn das Augenproblem später behoben wurde, konnten die Tiere nicht scharf sehen. „Wer das Sehen mit verschwommenen Bildern gelernt hat, dessen Gehirn kann auch im Alter nichts mehr mit scharfen Bildern anfangen“, fasst Montúfar das Ergebnis zusammen. Und auch in der Informatik wirkt sich die Art und Weise, wie Trainingsdaten gestaltet sind, auf den Lernprozess aus. „Wir wollen wissen, welche Effekte das sind“, sagt der Forscher, „also welchen Einfluss die Auswahl der Trainingsdaten auf die Entwicklung und später dann die Leis-

tungsfähigkeit eines Netzes hat.“ Spinnt man die aktuelle Entwicklung künstlicher Intelligenz weiter, könnte sich irgendwann auch die Frage nach einem künstlichen Bewusstsein stellen. „Wenn man davon ausgeht, dass Bewusstsein existiert, sehe ich keinen Grund, warum es dieses nicht auch in künstlichen neuronalen Netzen geben sollte“, meint Montúfar pragmatisch. Viele Forscher träumen schon jetzt davon, künstliche Intelligenz so weit zu entwickeln, dass sie nicht mehr bloß für einzelne Spezialaufgaben taugt, sondern ein umfassendes Verständnis der Welt entwickelt. Eine solche künstliche allgemeine Intelligenz wäre dann einer Vielzahl unterschiedlicher intellektueller Aufgaben gewachsen und würde den Menschen über kurz oder lang wohl auch in jeder davon überflügeln.

Allerdings bleibt die Frage, wann und wie wir denn entscheiden werden, ob eine allgemeine KI erreicht wurde. „Früher hätte man vielleicht einen Spamfilter schon als intelligent be-

## GLOSSAR

### KÜNSTLICHES NEURONALES NETZ

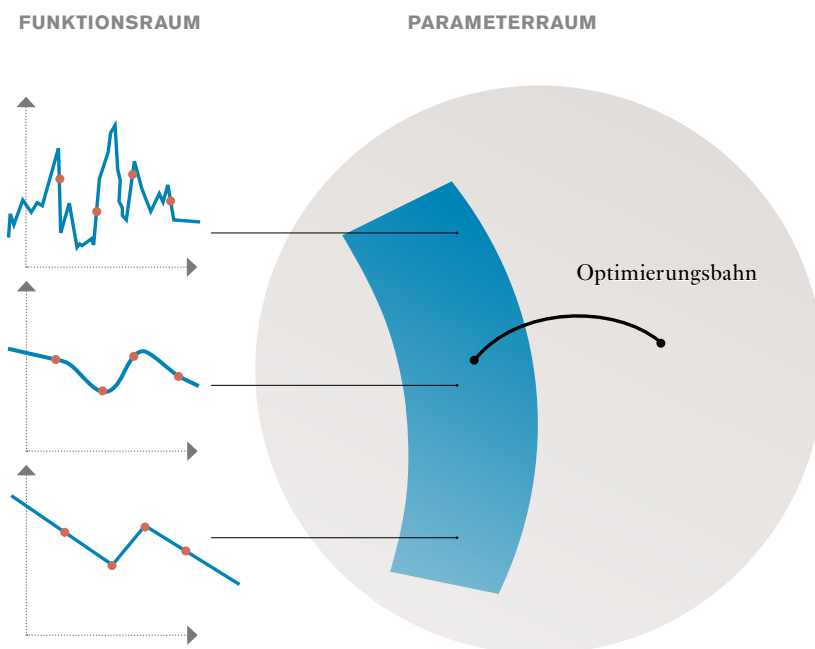
heißt ein am Computer simuliertes System, in dem zahlreiche künstliche Neuronen so vernetzt sind wie die Nervenzellen des Gehirns. Künstliche Neuronen erzeugen aus einem Eingabewert einen Ausgabewert und geben diesen an ein anderes Neuron weiter. Beim Training neuronaler Netze werden die Verbindungen zwischen den Neuronen so geknüpft und verstärkt, dass eine Aufgabe optimal gelöst wird. Die Verknüpfungen entsprechen dabei Kriterien, die bei der Suche nach Lösungen für ein Problem zu berücksichtigen sind und nach ihrer Relevanz gewichtet werden.

zeichnet, heute beeindruckt das niemanden mehr“, sagt Montúfar. Die Grenze verschiebt sich also ständig, und tatsächlich ist allgemeine KI nur schwer zu definieren. Wie viele Aufgaben soll dieses System lösen können, damit es die Bezeichnung allgemeine KI verdient? „Manche Leute haben ja bereits Tests formuliert und Benchmarks definiert, wie man das entscheiden soll“, sagt Montúfar. „Ich denke aber, es wird sich letztlich in der Praxis zeigen, ob Leute ein System als allgemeine KI wahrnehmen oder nicht.“

„Womöglich läuft es mit Computern aber auch ähnlich wie mit dem Zeugen von Kindern“, meint Montúfar. „Das sind auch intelligente Wesen, und um sie zu erschaffen, müssen wir eigentlich gar nichts verstehen.“ So könnten wir womöglich irgendwann eine allgemeine KI erschaffen, ohne genau zu wissen, was wir da eigentlich tun. „Die Frage ist, was das dann für ein Wesen sein wird“, gibt Montúfar zu bedenken. „Und wenn es irgendwie mit unserer Gesellschaft und unseren Begriffen von Zivilisation kompatibel sein soll, wäre es schon sehr gut, wenn wir es auch verstehen würden.“ Doch dazu müssen eben erst einmal die theoretischen Grundlagen von KI bekannt sein.

63

GRAFIK: GCO NACH GUIDO MONTÚFAR / MPI FÜR MATHEMATIK IN DEN NATURWISSENSCHAFTEN



Beim Lernen passt ein künstliches neuronales Netz seine Parameter, quasi seine synaptischen Verbindungen, entlang der Optimierungsbahn an und sucht den blau gefärbten Bereich der Funktionen, die alle Datenpunkte (rot) abdecken. Die mittlere Funktion mit möglichst wenigen Maxima und Minima sowie ohne Knicke löst die Aufgabe sehr gut.



# AM URSPRUNG DER MILCHSTRASSE

TEXT: MARKUS PÖSSEL

64

Galaxien, wie wir sie heute kennen, blicken auf eine bewegte Vergangenheit zurück. Es gab schwungvolle Kollisionen, mächtige Gasströme und Phasen heftiger Sternentstehung – auch in unserer Heimatgalaxie. Deren Geschichte rekonstruiert ein Team um Hans-Walter Rix am Max-Planck-Institut für Astronomie und betreibt damit eine Art kosmischer Archäologie.

BILD: S. PAYNE-WARDENAR, K. MALHAN / MPI FÜR ASTRONOMIE







**Zeugen vergangener Kollisionen: In der künstlerischen Darstellung unserer Milchstraße sind Sternenströme zu erkennen, die in weiten Bögen aus der scheibenförmigen Spiralgalaxie ragen und Relikte von Verschmelzungen mit anderen Galaxien darstellen.**

65

Unsere Milchstraße ist beinahe so alt wie das Universum und blickt auch auf eine ähnlich turbulente Geschichte zurück. Wie die meisten Galaxien existiert sie bereits seit rund 13 Milliarden Jahren, sie ist also schon

während der ersten Milliarde Jahre nach dem Urknall entstanden. Ihre Entwicklung lässt sich dabei in mancher Hinsicht mit der Historie vieler Städte und Staaten vergleichen. Details ihrer Geschichte können Astro-

nominnen und Astronomen anhand von Beobachtungsdaten inzwischen recht gut rekonstruieren. „Dabei lernen wir nicht nur etwas über Anfang und Frühzeit unserer Heimatgalaxie, sondern auch über die Entwicklung



ferner Galaxien, die wir nicht so gut beobachten können“, erklärt Hans-Walter Rix, Direktor am Max-Planck-Institut für Astronomie. Sein Team schreibt an einer ausführlichen Chronik der Milchstraße mit. Dabei gehen die Forschenden ähnlich vor, wie Historikerinnen oder Archäologen die Geschichte einer Stadt rekonstruieren: Für einige Gebäude gibt es eindeutige Baudaten. Bei anderen deuten die Verwendung primitiverer Baumaterialien oder die Merkmale älterer Baustile darauf hin, dass sie früher entstanden sind. Auch der Umstand, dass Überreste von Gebäuden unter neueren Strukturen gefunden werden, gibt bedeutende Anhaltspunkte. Nicht zuletzt sind räumliche Muster wichtig: In vielen Städten gibt es eine zentrale Altstadt, die umgeben ist von deutlich neueren Stadtteilen.

Nicht viel anders verhält es sich in der Milchstraße und anderen Galaxien. Zeugnis von deren Vergangenheit legen ihre Sterne ab: Auch unter diesen gibt es einige, deren Alter die Astronomie recht genau bestimmen kann. Geht das nicht, lässt sich aus der Zusammensetzung der Sterne gewissermaßen ihr Baustil bestimmen, der zumindest ungefähre Rückschlüsse auf das Alter erlaubt. Und wie Städte einen Bauboom oder intensive Umbauphasen durchlaufen können, wird die Geschichte von Galaxien durch Kollisionen und Verschmelzungen geprägt sowie durch große Mengen an frischem Wasserstoffgas, das über Milliarden Jahre hinweg von außen in eine Galaxie einströmen kann – das Rohmaterial, aus dem sich neue Sterne bilden. Ganz am Anfang der Geschichte einer Galaxie stehen dabei kleinere Protogalaxien: Regionen, in denen bereits in der ersten Milliarde Jahre nach dem Urknall Sterne entstanden. Sie bildeten die Keime der Galaxien, die wir heute kennen.

Die Milchstraße nahm vermutlich ihren Anfang, als drei oder vier solcher Protogalaxien verschmolzen, die sich in unmittelbarer Nachbarschaft zueinander gebildet hatten. Eine solche Entstehungsgeschichte einer Galaxie rekonstruieren Astronominnen und Astronomen mithilfe von Beobachtun-

gen und Simulationen. „Dabei haben uns Himmelsdurchmusterungen sehr geholfen“, sagt Hans-Walter Rix. „Sie haben uns dramatisch bessere und umfassendere Daten geliefert, als zuvor verfügbar waren.“ Bei Durchmusterungen rastern Teleskope Teile des Nachthimmels und sammeln damit Informationen etwa über die Position und die Helligkeit von Sternen. Die Sterne der Milchstraße lassen sich dabei naturgemäß am besten und detailliertesten untersuchen.

---

### AUF DEN PUNKT GEBRACHT

Ein Team des Max-Planck-Instituts für Astronomie rekonstruiert die frühe Geschichte der Milchstraße unter anderem anhand von Daten des Weltraumteleskops Gaia, das Positionen und Bewegungen von Sternen bestimmt sowie Informationen über deren Alter liefert.

Im Alter von wenigen Milliarden Jahren vereinigte sich die Milchstraße mit der Gaia-Enceladus/Sausage-Galaxie, in der Folge durchlief sie eine Phase intensiver Sternentstehung.

Im Kern der Milchstraße finden sich Sterne, die älter sind als 12,5 Milliarden Jahre und kurz nach der Verschmelzung der Protogalaxien, das heißt der Vorläufer unserer Galaxie, entstanden.

---

Für die archäologischen Arbeiten in der Milchstraße nutzte das Team um Hans-Walter Rix die Durchmusterungen des ESA-Satelliten Gaia, des Sloan Digital Sky Survey und des chinesischen Teleskops Lamost. Gaia hat bis heute die Positionen, Bahnen und Helligkeiten von fast zwei Milliarden Sternen der Milchstraße bestimmt – das entspricht rund einem Prozent der gesamten Sternpopulation unserer Heimatgalaxie. Lamost wiederum misst die Spektren von etwa zehn Millionen Sternen, indem

es deren Licht in die Regenbogenfarben aufspaltet. Anhand dieser Daten ermittelten Hans-Walter Rix und Maosheng Xiang, der ebenfalls am Max-Planck-Institut für Astronomie forscht, zunächst die Oberflächen-temperatur, die Leuchtkraft und die chemische Zusammensetzung von 250 000 sogenannten Unterriesen. Diese befinden sich in einer relativ kurzen Phase der Sternentwicklung, in der sich das Alter der Sterne anhand der verfügbaren Daten sehr genau bestimmen lässt. Indem die Forschenden die Gaia- und Lamost-Daten genauer betrachteten, erhielten sie ein klares Bild der frühen Entwicklung unserer Heimatgalaxie. Im Alter von wenigen Milliarden Jahren durchlief die Milchstraße eine turbulente Phase, denn damals verschmolz sie mit einer anderen Galaxie, genauer gesagt der Gaia-Enceladus/Sausage-Galaxie.

Die beiden Galaxien führten enorme Gasmengen mit sich, die sich bei der Verschmelzung verdichteten, sodass innerhalb kurzer Zeit zuhauf neue Sterne entstanden. Diese sammelten sich in einem Bereich der Galaxie an, der in der Astronomie die dicke Scheibe der Milchstraße heißt. Später ging es in puncto Sternentstehung viel ruhiger zu: „Nach der turbulenten Frühzeit fand sich deutlich weniger Wasserstoffgas in der Galaxie“, sagt Maosheng Xiang. „Es sammelte sich in derjenigen Struktur an, die wir heute die dünne Scheibe unserer Galaxie nennen.“

Als Maosheng Xiang und Hans-Walter Rix die Verschmelzung mit Gaia-Enceladus/Sausage rekonstruierten, fiel ihnen auf, dass daran auch schon relativ alte Sterne beteiligt waren. Das stellten sie anhand der Bauart dieser Sterne fest, um im Bild der Archäologie zu bleiben. Zumindest ein grobes Maß für das Alter eines Sterns liefert dessen Metallizität, das heißt die Menge an chemischen Elementen in der Sternatmosphäre, die schwerer sind als Helium. Solche Elemente, die in der Astronomie Metalle heißen, entstehen im Sterninneren durch Kernfusion und werden am Ende des Lebens massereicher Sterne in einer

Supernova freigesetzt. Dadurch reichert sich das interstellare Gas mit schwereren Elementen an, und aus jenem Gas entsteht die nächste Generation von Sternen, dann mit höherer Metallizität. Sterne mit höherer Metallizität sind deswegen tendenziell jünger als solche mit geringerer Metallizität. Einige Sterne aus der Zeit der Verschmelzung mit Gaia-Enceladus/Sausage weisen eine Metallizität auf, die darauf hindeutet, dass sie aus den Überresten einer früheren Sterneneration entstanden sind.

„Dass es diese früheren Sternenerationen gab, hat uns nicht überrascht“, sagt Hans-Walter Rix. „Auf deren Existenz deuteten bereits aufwendige Simulationen der kosmischen Geschichte hin.“ Die Simulationen sagen auch voraus, wo sich heute noch Vertreter der früheren Sternenerationen finden lassen sollten: in der relativ kompakten Kernregion der Milchstraße, nur ein paar Tausend Lichtjahre im Durchmesser. Dieser uralte Kern im Zentrum unserer Galaxie dürfte sich aus den ersten Protogalaxien gebildet haben, als diese zur Milchstraße verschmolzen. Und dort dürften sich die frühen Sterne auch heute noch finden lassen.

„Wir haben also überlegt, wie wir diese Sterne aus dem alten Kern unserer Galaxie aufspüren können“, sagt Rix, der dieses Projekt gemeinsam mit René Andrae, Forscher am Max-Planck-Institut für Astronomie, und Vedant Chandra, einem Gastdoktoranden der Harvard University, an-

ging. „Es war klar, dass wir dabei mit den Daten der Unterriesen nicht weiterkommen würden.“ Unterriesen sind zu lichtschwach, als dass sie jenseits von Entfernungen von etwa 7000 Lichtjahren beobachtet werden könnten. Daher konzentrierten sich die Forscher auf einen anderen Typ von Sternen – die Roten Riesensterne. Typische Rote Riesen sind etwa hundertmal heller als Unterriesen und damit auch in der Entfernung des galaktischen Zentrums und seiner Nachbarschaft gut zu beobachten. In den Gaia-Messungen finden sich Informationen über zahlreiche Rote Riesen, und seit der jüngsten Datenveröffentlichung im Sommer 2022 sogar die zugehörigen Spektren. Eine präzise Altersbestimmung wie bei den Unterriesen ist bei den Roten Riesen zwar nicht möglich, doch über ihre Metallizität, die sich anhand der Spektren bestimmen lässt, kann man ihr Alter zumindest ungefähr abschätzen.

## Künstliche Intelligenz analysiert Spektren

Allerdings sind die Spektren von Gaia zu schlecht aufgelöst, als dass sich die Spektrallinien verschiedener Elemente mit herkömmlichen Analysemethoden identifizieren ließen. Aus diesem Grund setzte Rix' Team auf künstliche Intelligenz, kurz KI, denn diese kann in Daten wesentlich subtilere Unterschiede erkennen als andere Methoden. Allerdings muss der ent-

sprechende Algorithmus für jede dieser Aufgaben gut trainiert werden. Hier kam den Forschenden zugute, dass die Metallizität eines Teils der Sterne, von denen Gaia Spektren aufzeichnete, bereits aus einer anderen Himmelsdurchmusterung bekannt war. Mithilfe dieser Trainingsdaten

## GLOSSAR

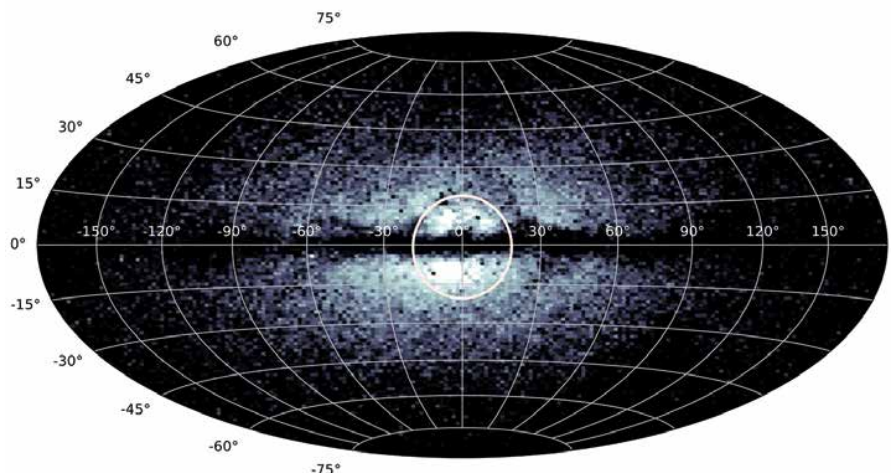
**METALLIZITÄT** beschreibt in der Astronomie die Häufigkeit chemischer Elemente, die schwerer sind als Wasserstoff und Helium. Sie lässt sich aus dem Spektrum eines Sterns bestimmen und ist ein grobes Maß für dessen Alter.

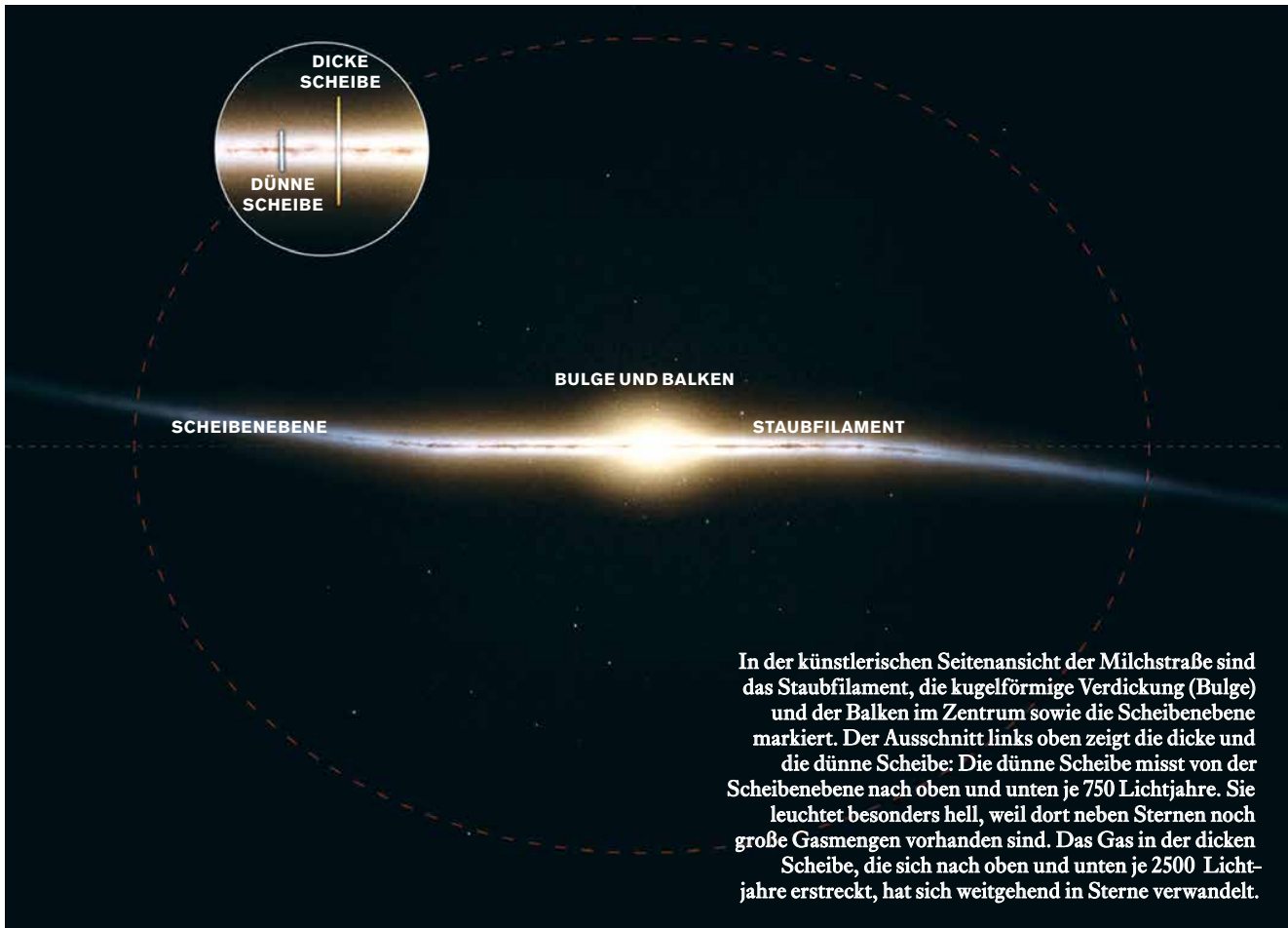
**RIESENSTERNE** heißen sonnenähnliche Sterne, deren Brennvorrat zur Neige gegangen ist und die sich daher aufblähen. Die Astronomie unterscheidet Unterriesen und Rote Riesen. Unterriesen befinden sich in einem relativ kurzen Entwicklungsstadium, sodass sich ihr Alter genau bestimmen lässt. Rote Riesen sind bis zu 100-mal größer und bis zu 1000-mal leuchtkräftiger als unsere Sonne, aber relativ kühl und erscheinen daher rötlich.

**SPEKTRUM** bezeichnet die Intensitätsverteilung etwa von Licht abhängig von der Wellenlänge. Die Linien im Spektrum eines Sterns sind charakteristisch für chemische Elemente in dessen Atmosphäre.

67

Der alte galaktische Kern: Die Karte zeigt die Verteilung Roter Riesensterne in der Milchstraße in ähnlicher Weise, wie bestimmte Weltkarten die Oberfläche der Erde darstellen. Im Äquator liegt die Scheibe der Galaxie, in der Gas und Staub die Sicht auf die Sterne verdecken. Im Zentrum (weißer Kreis) befinden sich Sterne, die schon mehr als 12,5 Milliarden Jahre alt sind.





lernte der Algorithmus, die Metallizität auch aus den Gaia-Spektren herauszulesen. Ob die künstliche Intelligenz nach dem Training fit für die Aufgabe war, überprüften die Forschenden an Spektren von Sternen, deren Metallizität ebenfalls bekannt war, die aber nicht fürs Training verwendet worden waren. Wie sich zeigte, konnte der Algorithmus die Metallizität aus den Gaia-Spektren mit beeindruckender Genauigkeit ermitteln.

So konnte das Team sicher sein, dass die KI auch für die zwei Millionen Gaia-Spektren von Roten Riesen in den inneren Regionen der Milchstraße zuverlässige Werte hinsichtlich der Metallizität liefern würde. Damit konnte das Team dann in der Tat eine Population von Sternen mit der passenden Metallizität identifizieren, die den uralten Kern unserer Heimat-

galaxie bilden. Der Vergleich mit den Unterriesen, deren Alter Rix und Xi-ang in der früheren Studie bestimmt hatten, zeigt, dass dieser alte Kern der Milchstraße älter als circa 12,5 Milliarden Jahre sein muss. Die Sterne befinden sich alle in maximal rund 15 000 Lichtjahren Entfernung vom Zentrum – zum Vergleich: Die gesamte Milchstraße erstreckt sich über fast 200 000 Lichtjahre.

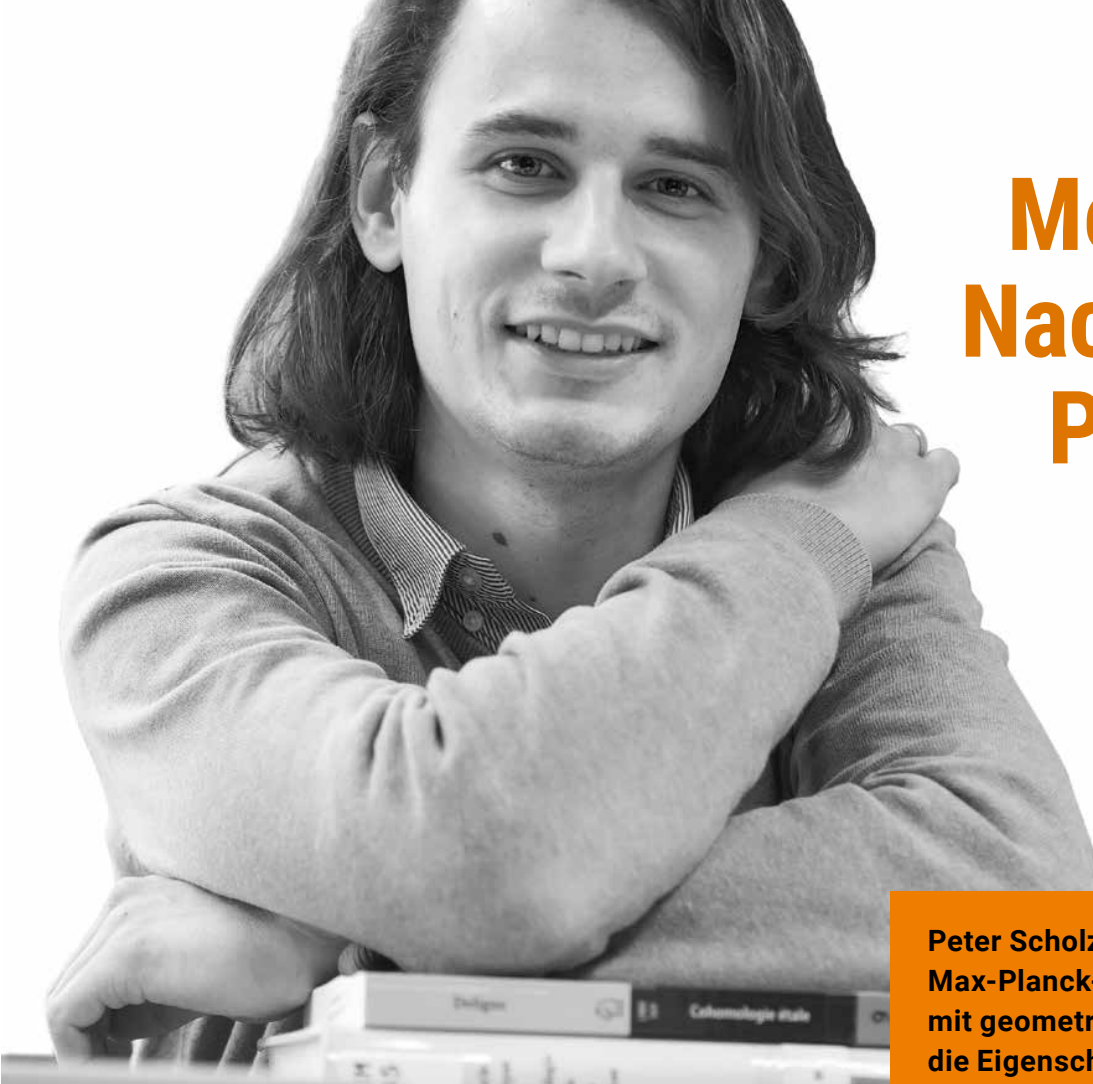
## Gesucht sind Sterne der Protogalaxien

Weitere Analysen der chemischen Zusammensetzung zeigten, dass diese Sterne trotz ihres hohen Alters sehr wahrscheinlich erst in der Milchstraße entstanden sind, kurz nachdem die Protogalaxien verschmolzen

waren. „Damit haben wir bestätigt, was kosmologische Simulationen über die Frühgeschichte unserer Heimatgalaxie vorhergesagt hatten“, sagt Hans-Walter Rix.

Als Nächstes hoffen die Forschenden, mit hochauflösenden Spektren weiterer Himmelsdurchmusterungen die Positionen und sogar die Bewegungsmuster der Sterne im Kern der Milchstraße genau zu bestimmen. Lassen sich die Sterne bei einer solchen Analyse unterscheidbaren Gruppen mit jeweils charakteristischem Bewegungsmuster zuordnen, so könnten diese Gruppen den Protogalaxien entsprechen, aus denen die Milchstraße entstanden ist. Hans-Walter Rix und sein Team wären in ihrer kosmischen Archäologie dann tatsächlich am Ursprung der Milchstraße angelangt.





# Meine Nachbarn, die Primzahlen

**Peter Scholze untersucht am Max-Planck-Institut für Mathematik mit geometrischen Methoden die Eigenschaften ganzer Zahlen.**

Mit den »perfektoiden Räumen« hat er eine neue Klasse geometrischer Strukturen entdeckt – so konnten alte Probleme in der Zahlentheorie gelöst werden. Wir fördern ihn, weil die gedanklichen Abenteuer und Erfolge der reinen Mathematik eine unentbehrliche Grundlage für unser Leben im 21. Jahrhundert sind.

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

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

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



**MAX PLANCK**  
Förderstiftung



Kurs auf die Karibik:  
Lena Heins segelte  
an Bord der S/Y Eugen  
Seibold über den  
Atlantik. Die 22-Meter-  
Hochseejacht steht  
seit 2018 im Dienst der  
Meeres- und Klima-  
forschung.

70 Max-Planck-Forschende kooperieren mit Partnern in mehr als 120 Ländern. Hier schreiben sie über ihre persönlichen Erfahrungen und Eindrücke. Lena Heins vom Max-Planck-Institut für Chemie in Mainz überquerte an Bord der Forschungssegeljacht S/Y Eugen Seibold den Atlantik. Während der Fahrt von den Kapverden bis zur Karibikinsel Grenada sammelte sie Proben für unterschiedliche Klimaprojekte. Die Wissenschaftlerin gibt Einblick in ihre Arbeit auf dem Schiff, erzählt von Delfinen, Fliegenden Fischen und einem Klimaarchiv auf dem Meeresgrund.

Die S/Y Eugen Seibold ist eine 22 Meter lange Hochsee-Forschungsjacht, die auf das Sammeln und Analysieren von Meerwasser-, Plankton- und Luftproben ausgelegt ist. Ihr Segel-

antrieb ist nicht nur umweltfreundlich. Er ermöglicht es auch, Proben zu sammeln, die frei von jeglichen Verunreinigungen durch Schiffsabgase sind. Die Jacht verfügt über ein Wasser- und ein Luftlabor, sodass die Proben teilweise gleich vor Ort bearbeitet werden können. Ende November ging ich auf der Kanareninsel Lanzarote an Bord, um nach einem Zwischenstopp auf den Kapverden den Atlantik zu überqueren.

In meiner Doktorarbeit untersuche ich planktische Foraminiferen – eine Gruppe von Einzellern, die frei im Meer umhertreiben. Die meisten Arten sind mikroskopisch klein und leben in gekammerten Kalkschalen. Sterben sie, sinken die Schalen auf den Meeresgrund und bilden dort mit der Zeit ein natürliches Klimaarchiv, das sich mit Sedimentkernen erschließen lässt. Ob Temperatur, Salzgehalt, Sauerstoffkonzentration oder pH-Wert – da die Kalkbildung in Wechselwirkung mit dem Meerwasser stattfindet, sind all diese Parameter in den Schalen konserviert. Aus diesem

Grund dienen Foraminiferen als Archive, um das Klima früherer Epochen zu rekonstruieren. Ich analysiere die Kalkschalen heutiger Arten und vergleiche ihre Zusammensetzung mit der des Meerwassers. Das ist wichtig, um zu wissen, wie genau die Analysedaten den Ozean repräsentieren, und so die Paläoklima-Daten zu kalibrieren.

Auf unserer Fahrt folgten wir einer klassischen Blauwasserroute – einem von Seglern bevorzugten Seeweg, der zu einer bestimmten Jahreszeit ideale Wind-, Wetter- und Strömungsbedingungen erwarten lässt. Das Wetter war eine Mischung aus Sonne, Wolken und vereinzelt Schauern. Die Passatwinde wehten mit durchschnittlich 20 Knoten aus östlichen Richtungen, und wir konnten einen Großteil der insgesamt rund 2200 Seemeilen segelnd zurücklegen. Beindruckend für mich war, wie allein man auf dem Atlantik ist: In zwei Wochen sind wir nur drei anderen Schiffen begegnet. Unwohl habe ich mich deswegen nicht gefühlt. Vielmehr war ich fasziniert von dem kleinen Mikro-

## GRENADA, KARIBIK

kosmos unseres Schiffes gegenüber der grenzenlosen Weite des Ozeans. Manchmal wurden wir von Delfinen begleitet, oder Fliegende Fische glitten übers Wasser. Immer wieder segelten wir durch große Teppiche von Sargassum-Algen, die sich derzeit im Atlantik stark ausbreiten. Nachts hatten wir einen grandiosen Sternenhimmel.

Unsere Besatzung bestand aus vier Crewmitgliedern und zwei Wissenschaftlerinnen: Während meine Kollegin Isabella Hrabec de Angelis für die Atmosphärenchemie zuständig war, kümmerte ich mich um die Wasser- und Planktonproben. Die Zweierkajüte, die ich mit Isabella teilte, war eng, aber gemütlich. Es gab darin zwei Schränke und ein Etagenbett. Eine geniale Erfindung ist der Flaschenzug, mit dem sich der Winkel des oberen Bettes verstellen lässt. Damit kann man sich quasi verkanten, sodass man selbst bei starkem Seegang nicht herumrollt. Begleitet vom Plätschern des Wassers an der Bordwand habe ich mitten auf dem Atlan-

tik bestens geschlafen. Während der Fahrt zeichneten die Instrumente an Bord kontinuierlich Daten auf, und zusätzlich nahmen wir im Zwölf-Stunden-Rhythmus Wasser- und Luftproben. Dabei arbeiteten wir schichtweise, sodass immer jemand die Geräte im Auge hatte. Bei technischen Problemen, die sich nicht mit dem Gerätehandbuch lösen lassen, helfen uns unsere Kolleginnen und Kollegen, mit denen wir per Internet verbunden sind. Glücklicherweise lief aber alles nach Plan, und wir sind mit unserer Ausbeute an Proben und Daten sehr zufrieden.

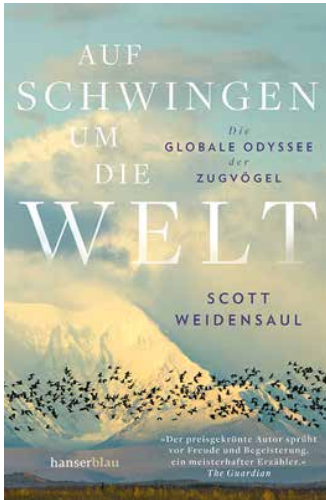
Nach vierzehn Tagen auf offener See liefen wir schließlich in einen Hafen auf der Karibikinsel Grenada ein. Für mich war die Reise damit fast zu Ende. Fünf Tage später flog ich von dort aus zurück nach Frankfurt – mitten im Winter ein Temperaturschock! Die S/Y Eugen Seibold segelt dagegen weiter nach Panama. In den kommenden drei Jahren wird sie im tropischen Pazifik kreuzen und hoffentlich noch viele spannende Daten liefern.



FOTO: PRIVAT

Lena Heins

29, ist von der Vielfalt der Ozeane fasziniert. Daneben begeistert sie sich für Kunst und Gestaltung. Nach einem Studium der Geowissenschaften erwarb sie an der Bremer Kunsthochschule einen Master in Integriertem Design. Seit einem Jahr promoviert sie am Max-Planck-Institut für Chemie in Mainz. In der Forschungsabteilung Klimageochemie unter der Leitung von Gerald Haug befasst sie sich mit Foraminiferen, einer Gruppe von marinen Einzellern.



## JA, WO FLIEGEN SIE DENN?

Im Frühling und im Herbst vollzieht sich auf unserem Planeten ein atemberaubendes Schauspiel: Milliarden von Zugvögeln machen sich auf den Weg in ihre Brut- oder Überwinterungsgebiete. Für viele Menschen ist der alljährliche Vogelzug ein Naturwunder. Scott Weidensaul ist der Faszination der Vögel schon in seiner Kindheit erlegen. Der Ornithologe und Buchautor leitete verschiedene Beringungsprogramme in den USA und erforschte die Zugbewegungen von Sägekäuzen, Schneeeulen und Kolibris. Das Beringen von Vögeln ist inzwischen je-

doch nicht mehr sein Mittel der Wahl. Mit Funksendern, Meeresradar und sogenannten Geolokatoren lassen sich die Flugbewegungen der Tiere wesentlich einfacher und genauer verfolgen. Äußerst lebendig beschreibt Weidensaul seine Erlebnisse an einigen der wichtigsten globalen „Drehkreuze“ des Vogelzugs. Der Autor konzentriert sich dabei auf die Flugrouten auf dem amerikanischen Kontinent und in Asien. Mit Zypern widmet der Autor auch Europa ein Kapitel seines Buches – allerdings ein unrühmliches, geht es darin doch um die illegale Vogeljagd. In den

Ländern rund um das Mittelmeer werden jedes Jahr Dutzende Millionen Vögel getötet, selbst in Italien und Frankreich landen immer noch Millionen Singvögel im Kochtopf. Warum es alle Anstrengungen wert ist, die Zukunft der Zugvögel zu bewahren, steht in diesem Buch.

Harald Rösch

Scott Weidensaul  
*Auf Schwingen um die Welt*  
 416 Seiten, hanserblau  
 26,00 Euro

72

## AUS DEM SCHATTEN

Ein 272 Seiten dickes Buch darüber, wie Frauen die Wissenschaft verändert haben – und dann das: Marie Curie und Lise Meitner finden sich nur als Fußnoten! Da muss jemand sein Thema gründlich verfehlt haben! Auf den ersten Blick zumindest könnte man das meinen. Aber dann wird schnell klar: Anna Reser und Leila McNeill verzichten ganz bewusst darauf, berühmte Forscherinnen zu beschreiben. Deren Licht, so die Begründung der beiden Autorinnen, stellt sehr viele andere Wissenschaftlerinnen in den Schatten. Dabei geht es darum, bislang weitgehend unbekannte Naturphilosophinnen, Physikerinnen oder Psychologinnen auf die Bühne zu holen. Frauen, die von zentraler Bedeutung für die naturwissenschaftliche Revolution in der frühen Neuzeit waren. „Ihre Leistungen blieben unbeachtet, ihre Geschichten gerieten in Vergessenheit, wurden verzerrt oder bewusst ver-

schwiegen“, schreiben Reser und McNeill. Und so liest man von der Ärztin Peseschet im alten Ägypten, die eine Gruppe von Medizinerinnen leitete, von der Botanikerin Jeanne Baret, die im 18. Jahrhundert, als Mann verkleidet, an Bord eines Schiffs die Welt umsegelte, oder von Katsuko Saruhashi, der Geochemikerin, die eine Methode entwickelte, um den Kohlendioxidgehalt im Meerwasser zu messen. Das Buch ist in fünf Abschnitte von der Antike bis in die Gegenwart gegliedert und erzählt Wissenschaftsgeschichte abseits der ausgetretenen Pfade. Absolut lesenswert.

Helmut Hornung

Anna Reser und Leila McNeill  
*Frauen, die die Wissenschaft veränderten*  
 272 Seiten, Haupt Verlag  
 36,00 Euro







## WISSEN NEU DENKEN

Das Buch des Wissenschaftshistorikers Jürgen Renn ist aus einem Langzeit-Forschungsprojekt hervorgegangen und skizziert zugleich dessen Zukunft: Renn hat in den 1990er-Jahren das Max-Planck-Institut für Wissenschaftsgeschichte begründet und ist jetzt auch Gründungsdirektor des Max-Planck-Instituts für Geoanthropologie. Sein Werk ist zugleich Rechenschaftsbericht des alten und Vorschau auf das neue Institut. Mehr als 800 Seiten Text, fast 1000 Fußnoten sowie eine 120-seitige Bibliografie – Renn spannt den Bogen von den „Ursprüngen des menschlichen Denkens bis zu den aktuellen Herausforderungen des Anthropozäns“. Damit liefert er eine Theorie des Wissens und zieht auch dessen Konsequenzen in Betracht. Der Überblick über die Wissenschaftsgeschichte soll den doppelten Charakter von Wissen aufdecken, der für den Eintritt des Menschen in das Anthropozän entscheidend ist: die Ermächtigung durch Wissen und die unbeabsichtigten Folgen seiner technologischen Anwendung. Der Pfad ins Anthropozän sei bisher durch systemische Zwänge vorgegeben, daher müsse Wissenschaft neu auf die Herausforderungen der Menschheit ausgerichtet werden. Von Neugier getriebene Forschung aber könne nur in Freiheit und selbstorganisierend zu den größten Errungenschaften und zum Wohle der Menschheit voranschreiten, resümiert Renn. So ist sein Buch auch ein Plädoyer für den wissenschaftlichen Ansatz der Max-Planck-Gesellschaft.

Peter M. Steiner

---

Jürgen Renn  
*Die Evolution des Wissens*  
1027 Seiten, Suhrkamp Verlag  
46,00 Euro

# NEU ERSCHIENEN

---

## ERHELLENDE FORSCHUNG

Anfang der 1970er-Jahre macht der junge Chemiker Dieter Oesterhelt eine erstaunliche Entdeckung: In Halobakterien, die in extrem salzhaltigem Wasser vorkommen, findet er das lichtempfindliche Membranprotein Rhodopsin. Anfangs will man ihm nicht glauben – zu abwegig scheint es, dass ein Molekül, das im Auge von Wirbeltieren vorkommt, auch in Einzellern vorhanden sein soll! Doch Oesterhelt, der später als Direktor eine Arbeitsgruppe am Max-Planck-Institut für Biochemie leitet, behält recht. Heute schleusen Forschende solche lichtempfindlichen Membranproteine gezielt in Nervenzellen ein, um diese mithilfe von Licht zu steuern – ein Ansatz für völlig neue Therapien in der Medizin. Der neue Band aus der Reihe *Lebenswerke in der Chemie* beruht auf Gesprächen zwischen Dieter Oesterhelt und dem Wissenschaftshistoriker Mathias Grote. Oesterhelt erzählt darin aus seinem Forscherleben, in dem das Bacteriorhodopsin eine zentrale Rolle spielt: Über viele Jahre hinweg untersuchen er und seine Kolleginnen und Kollegen das Molekül mithilfe ganz unterschiedlicher Techniken, um es in all seinen Facetten zu verstehen. Sehr ansprechend ist die Gestaltung des Bands, die von der Stiftung Buchkunst prämiert wurde: Im Schubert und mit Lesezeichen versehen, enthält er neben Grafiken und privaten Fotos auch Auszüge aus Oesterhelts Laborbuch. Damit zeichnet er das Porträt eines herausragenden Forschers und lässt zugleich eine spannende Ära der Biochemie aufleben.



kül mithilfe ganz unterschiedlicher Techniken, um es in all seinen Facetten zu verstehen. Sehr ansprechend ist die Gestaltung des Bands, die von der Stiftung Buchkunst prämiert wurde: Im Schubert und mit Lesezeichen versehen, enthält er neben Grafiken und privaten Fotos auch Auszüge aus Oesterhelts Laborbuch. Damit zeichnet er das Porträt eines herausragenden Forschers und lässt zugleich eine spannende Ära der Biochemie aufleben.

Elke Maier

---

Dieter Oesterhelt und  
Mathias Grote  
*Leben mit Licht und Farbe:  
Ein biochemisches Gespräch*  
288 Seiten, GNT-Verlag  
39,80 Euro

# FÜNF FRAGEN

## ZU CHATGPT UND URHEBERRECHTEN

AN DARIA KIM



74

**Wenn nicht ein Mensch, sondern eine Maschine die Texte schreibt, wer hat dann die Rechte daran? Mit Fragen wie diesen beschäftigt sich Daria Kim, Rechtswissenschaftlerin am Max-Planck-Institut für Innovation und Wettbewerb in München. Im Interview erzählt sie, welche Regeln für KI-generierte Werke und den Schutz des geistigen Eigentums gelten.**

**Frau Kim, wenn ChatGPT einen Text schreibt, kann ich diesen dann einfach verwenden?**

DARIA KIM Das hängt von Land zu Land davon ab, ob solche Texte durch Immaterialgüterrechte geschützt sind. In Deutschland gilt die sogenannte kontinentaleuropäische Urheberrechtstradition. Es ist immer eine gewisse menschliche Schöpfungshöhe erforderlich, um urheberrechtlichen Schutz zu rechtfertigen. Das gilt sowohl für Texte als auch für Bilder und musikalische Kompositionen. In Deutschland kann der Roh-Output von KI nicht als urheberrechtlich geschütztes Werk einer Person gelten, die lediglich den Knopf drückt, um ihn zu erzeugen.

**Der rohe Output ist nicht geschützt – was ist, wenn er verändert wird?**

Es kommt darauf an, wie der Text verändert wird. Ein Mensch sollte ausreichend kreativ an der Veränderung der Rohdaten der KI

beteiligt sein, damit er einen Anspruch auf Urheberrecht hat. Bemerkenswert ist, dass OpenAI, das Unternehmen, das hinter ChatGPT steht, es in seinen Nutzungsbedingungen verbietet, Ergebnisse als „von Menschenhand generiert“ darzustellen, wenn dies nicht der Fall ist – was sowieso unethisch wäre.

**Die Diskussion über den Schutz des geistigen Eigentums im Zusammenhang mit KI-Produkten ist trotzdem noch lange nicht beendet.**

Das liegt an den internationalen Unterschieden im Urheberrecht. Eine Harmonisierung der Schutzfähigkeit von KI-Erzeugnissen wäre durchaus wünschenswert, insbesondere unter dem Aspekt der Rechtssicherheit. Die Schlüsselfrage bleibt jedoch: Welche Rechtsnormen sollten als Grundlage dafür herangezogen werden? Die Weltorganisation für geistiges Eigentum identifiziert gerade Probleme, die KI für Immaterialgüterrechte aufwirft. Die gesetzgeberischen Maßnahmen zur Harmonisierung können jedoch nicht mit der Geschwindigkeit mithalten, mit der sich die künstliche Intelligenz durchsetzt.

**Es geht auch um die Rechte der Urheber jener Werke, die als Trainingsdaten verwendet werden – sind diese vor Text- und Data-Mining, also der automatisierten Analyse durch Software, geschützt?**

Wenn Daten, die als Input für maschinelles Lernen verwendet werden, urheberrechtlich geschützt sind, stellt sich die Frage, ob die bestehenden Ausnahmen im Urheberrecht auf die Entwicklung von KI-Systemen anwendbar sind. Solche Ausnahmen sollten im Prinzip Interessen von Urhebern und Nutzern – in diesem Fall auch von KI-Entwicklern – ausgleichen. Um diese Möglichkeiten wiederum auszuhebeln, können Urheber technische Schranken nutzen und ihre Werke so schützen.

**Gilt die Nutzung von Werken für maschinelles Lernen überhaupt als Text- und Data-Mining?**

Der EU-Gesetzgeber definiert Text- und Data-Mining weit genug, sodass maschinelles Lernen durchaus auch als Text- und Data-Mining angesehen werden kann. Eine andere Frage ist allerdings, ob die Nutzung geschützter Werke für maschinelles Lernen in den Anwendungsbereich der geltenden Ausnahmen im Urheberrecht für Text- und Data-Mining fällt. Diese Frage ist derzeit noch nicht abschließend geklärt.

*Interview: Emma Lehmkuhl*

Dr. Daria Kim ist wissenschaftliche Referentin am Max-Planck-Institut für Innovation und Wettbewerb.

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

**Niederlande**

- Nimwegen

**Italien**

- Rom
- Florenz

**USA**

- Jupiter, Florida

**Brasilien**

- Manaus

**Luxemburg**

- Luxemburg



IMPRESSUM

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

**Redaktionsanschrift**

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

**Verantwortlich für den Inhalt**

Dr. Christina Beck (-1276)

**Redaktionsleitung**

Peter Hergersberg (Chemie, Physik, Technik; -1536)  
 Mechthild Zimmermann (Kultur, Gesellschaft; -1720)

**Redaktion**

Dr. Tobias Beuchert (Astronomie, Physik, Technik; -1404)  
 Dr. Elke Maier (Biologie; -1064)  
 Dr. Harald Rösch (Biologie, Medizin; -1756)

**Bildredaktion**

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

**Konzeptionelle Beratung**

Sandra Teschow und Thomas Susanka  
 www.teschowundsusanka.de

**Gestaltung**

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

**Druck & Vertrieb**

Vogel Druck & Medienservice GmbH  
 Leibnizstraße 5  
 97204 Höchberg

**Anzeigenleitung**

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

MaxPlanckForschung berichtet über aktuelle Forschungsarbeiten an den Max-Planck-Instituten und richtet sich an ein breites wissenschaftsinteressiertes Publikum. Die Redaktion bemüht sich, auch komplexe wissenschaftliche Inhalte möglichst allgemein verständlich aufzubereiten. Das Heft erscheint in deutscher und englischer Sprache (*MaxPlanckResearch*) jeweils mit vier Ausgaben pro Jahr. Die Auflage dieser Ausgabe beträgt 80000 Exemplare (*MaxPlanckResearch*: 10 000 Exemplare). Der Bezug ist kostenlos. Ein Nachdruck der Texte ist nur mit Genehmigung der Redaktion gestattet; Bildrechte können nach Rücksprache erteilt werden. Die in *MaxPlanckForschung* vertretenen Auffassungen und Meinungen können nicht als offizielle Stellungnahme der Max-Planck-Gesellschaft und ihrer Organe interpretiert werden.

Die Max-Planck-Gesellschaft zur Förderung der Wissenschaften e. V. unterhält 85 Institute und Forschungseinrichtungen, in denen rund 24 000 Personen forschen und arbeiten, davon etwa 7000 Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler. Der Jahresetat 2021 umfasste insgesamt 2,0 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.

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

