



## Was wir erben

### Das Vermächtnis von Familie und Gesellschaft

#### **Klimawandel:**

Wie man Treibhaus-  
gase wieder aus der  
Atmosphäre holt 11

#### **KI als Co-Pilot:**

Warum am Ende  
immer der Mensch  
entscheiden soll 48

#### **Kryptographie:**

Wie abhörsichere  
Kommunikation im  
All getestet wird 54



**Einsichten. Das Forschungsmagazin**  
erscheint mit großzügiger Unterstützung  
der Münchener Universitätsgesellschaft.  
[www.unigesellschaft.de](http://www.unigesellschaft.de)

**mg**  
**Münchener**  
**Universitätsgesellschaft**

Gesellschaft von Freunden und Förderern der  
Ludwig-Maximilians-Universität München e.V.





## Liebe Leserinnen, liebe Leser,

dieser Tage erscheint die Welt zunehmend in Aufruhr: Kriege, Krisen, soziale Konflikte – ein tiefgreifender Wandel steht an. Was bleibt von den Prinzipien der Demokratie, von der Ordnung der Welt und dem sozialen Zusammenhalt von Gesellschaften? Sind es vor allem diese offenen Fragen, die wir der kommenden Generation als Erbe überlassen?

Erbe – ein Begriff mit vielen Facetten: LMU-Forscherinnen und -Forscher unterschiedlicher Disziplinen berichten in dieser *Einsichten*-Ausgabe, wie die Frage nach dem Erbe auf ganz verschiedenen Ebenen ihre Forschung tangiert. Der Soziologe **Fabian Pfeffer** analysiert, was die dramatisch ungleiche Verteilung des Vermögens für Demokratie, Gesellschaft und Generationengerechtigkeit bedeutet. Der Evolutionsanthropologe **Wolfgang Enard** untersucht das Menschheitserbe, erklärt, wie wir wurden, was wir sind. Die Psychologin **Corinna Reck** und der Psychologe **Thomas Ehring** berichten davon, wie un-

bewältigte Traumata noch bei Kindern und Kindeskindern der Betroffenen Folgen zeigen können. Die Psychologin **Jeanine Grütter** skizziert, welchen Anteil Eltern und Umwelt daran haben, dass Jugendliche mit Selbstvertrauen und sozialem Sinn in die Zukunft gehen. Die Anglistin **Claudia Olk** erklärt, warum das Erbe des Theaterklassikers William Shakespeare auch nach gut 400 Jahren noch allgegenwärtig ist. Und die Medizinerin **Nadia Harbeck** erforscht, wie bei einer Brustkrebserkrankung das mögliche genetische Erbe nicht zum unabwendbaren Schicksal werden muss.

Apropos Erbe: Was Sie in den Händen halten, ist das letzte gedruckte *Einsichten*-Heft. Das Magazin aber wird es weiterhin geben: Vom kommenden Jahr an erscheint es mit einem neuen digitalen Auftritt, aktuell, modern, zeitgemäß. Und wie immer wird es fundiert über die Wissenschaft an der LMU berichten. Wir sehen uns im Netz!

**Viel Spaß beim Lesen wünscht Ihre Einsichten-Redaktion**

# Inhalt



Ungleiches Vermögen: Auswirkungen auf die Demokratie 13



Entwicklungspsychologie: Soziales Fundament fürs Leben 31

Auftakt

6 **Meldungen**

12 **Schwerpunkt:**  
**Was wir erben – Das Vermächtnis  
von Familie und Gesellschaft**

13 **Die schiefe Ebene**  
Warum das extreme Vermögensgefälle die Chancen  
für kommende Generationen höchst ungleich verteilt

20 **Wie wir wurden, wer wir sind**  
Spuren der Menschwerdung – wie sich im Vergleich  
verwandter Arten Mechanismen der Evolution zeigen

26 **Schweres Erbe**  
Noch Generationen später kann sich das Leid  
traumatisierter Menschen bemerkbar machen.

31 **Was wir Kindern mitgeben**  
Wie Eltern und Umwelt junge Menschen dabei  
unterstützen können, mit Selbstvertrauen und  
sozialem Sinn im Leben zu stehen

36 **Betörend, verstörend**  
Wie auf die heutige Zeit geschrieben: Was wir noch  
immer am Theaterklassiker Shakespeare haben

42 **Gefährliche Gene**  
Brustkrebs: Manchmal schlummert die Krankheit  
im Erbgut. Doch Diagnostik und Therapie sind heute  
feiner angepasst – und erfolgreicher.



Auf der großen Bühne: Shakespeares Aktualität

36



„Minimalinvasive“ KI: Hilfen für das Management

48

## Panorama

### 48 **KI als Co-Pilot**

Klare Problemstellung, genau angepasste Algorithmen, gute Daten – was es braucht, damit sich Künstliche Intelligenz im Management erfolgreich einsetzen lässt

### 54 **Verschlüsselung im Weltall**

Satellitenmission im Orbit: Neue Techniken der Quantenkryptographie sollen in Zukunft globale Netze zur abhörsicheren Kommunikation möglich machen.

**Titelbild:** Vermächtnis: Auch rotes Haar wird von den Eltern auf die Kinder vererbt. Fotos: Lightfield Studios / Adobe Stock; IMAGO / Pond5 Images (Seite 2)

## Rubriken

### 3 **Editorial**

### 11 **Der Dolmetscher**

Felix Havermann über Carbon Dioxide Removal (CDR)

### 60 **Büchertisch**

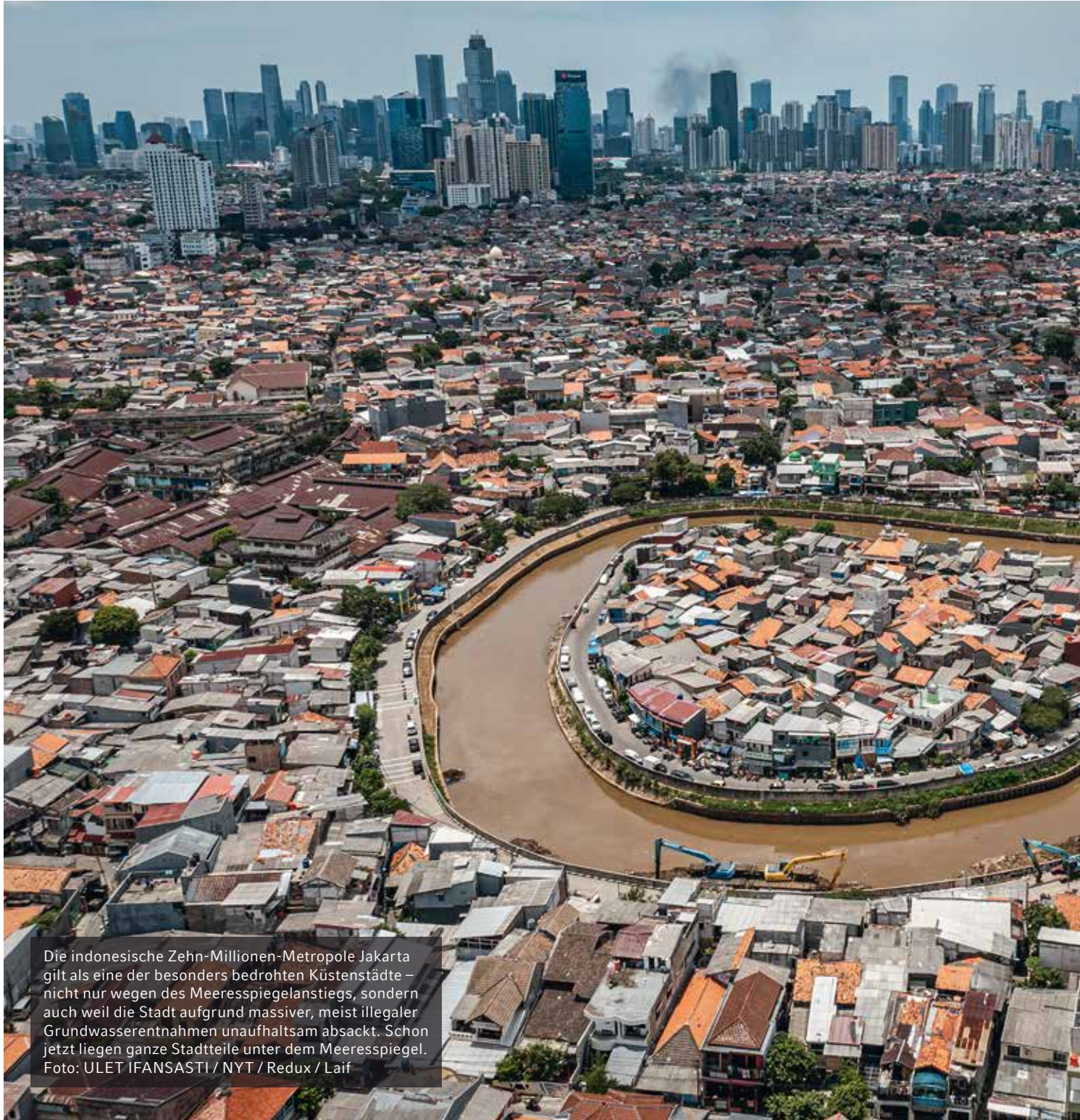
100 Jahre Surrealismus und eine Transformation in kleinen Schritten: Neues von Andreas Puff-Trojan, Pierre-Héli Monot und Armin Nassehi

### 62 **Die Zukunftsfrage**

Helfen uns bald keine Antibiotika mehr?

### 62 **Impressum**





Die indonesische Zehn-Millionen-Metropole Jakarta gilt als eine der besonders bedrohten Küstenstädte – nicht nur wegen des Meeresspiegelanstiegs, sondern auch weil die Stadt aufgrund massiver, meist illegaler Grundwasserentnahmen unaufhaltsam absackt. Schon jetzt liegen ganze Stadtteile unter dem Meeresspiegel. Foto: ULET IFANSASTI / NYT / Redux / Laif





## Unzureichend gerüstet

Wie gut sind Küstenstädte in aller Welt bereits an den Klimawandel angepasst? Ein internationales Forschungsteam hat eine Bestandsaufnahme gemacht.

Küstenstädte sind zentral für die globale Wirtschaft und haben wichtige Funktionen für die Gesellschaft. Gleichzeitig sind sie stark vom Klimawandel betroffen. Deshalb nehmen sie auch bei der globalen Klimaanpassung eine Schlüsselrolle ein. Ein internationales Team um den LMU-Geographen Matthias Garschagen hat den aktuellen Stand der Anpassung anhand von Studien zu 199 Städten aus 54 Staaten analysiert und untersucht, ob und wie die Städte bestimmte Risikofaktoren in ihrer Strategie berücksichtigen. Dabei spielen klimatische Faktoren wie steigende Meeresspiegel, Stürme, Überschwemmungen oder Hitze eine wichtige Rolle, aber auch Aspekte wie Exposition und Verwundbarkeit von Bevölkerung, Infrastruktur und Ökosystemen.

Die Studie zeigt, dass die meisten Maßnahmen für eine bessere Anpassung an den Klimawandel vor allem den Anstieg des Meeresspiegels und Überschwemmungen betreffen, in geringerem Maße auch Sturmfluten, Wirbelstürme und Erosion. Dabei sind technische und institutionelle Maßnahmen in wohlhabenderen Regionen wie in Nordamerika und Europa häufiger. In einkommensschwächeren Gebieten wie Afrika und Asien dominieren hingegen verhaltensbezogene Maßnahmen, bei denen betroffene Haushalte und Unternehmen eher auf sich selbst gestellt sind.

Insgesamt seien die meisten Anpassungsmaßnahmen unabhängig von den jeweiligen Regionen und ihrem Wohlstand in Tiefe, Umfang und Geschwindigkeit unzureichend, so die Forschenden. Auch gebe es kaum Anzeichen für eine nachhaltige Verringerung der Risiken durch die bereits umgesetzten Maßnahmen. „Unsere Ergebnisse zeigen auf allen Ebenen Nachholbedarf“, sagt Garschagen. „Es gibt wenig wirklich tiefgreifenden Wandel, bei dem das Risikomanagement fundamental umgedacht wird.“

Häufig versuchten Städte, das Katastrophenmanagement auf der Basis von früheren Erfahrungen zu optimieren, ohne zu hinterfragen, ob diese Ansätze auch in Zukunft noch tragfähig sind. Zudem würden die Planungsgrundlagen nur selten quantifiziert und sozioökonomische Faktoren selten berücksichtigt. Hier sieht Garschagen noch große Forschungslücken, vor allem im bisher in Studien unterrepräsentierten globalen Süden. *Nature Cities* 2024



## Ursprung des Lebens: Ein neues Szenario

### Waren wassergefüllte Gesteinsporen die Wiege der Evolution?

Die Entstehung des Lebens auf der Erde ist immer noch ein ungelöstes Rätsel, aber eine gängige Theorie besagt, dass die Replikation genetischen Materials ein entscheidender Prozess war. Eine Gruppe von LMU-Forschern um Dieter Braun, Mitglied im Exzellenzcluster ORIGINS, hat nun ein geologisches Szenario identifiziert, das die Entstehung des Lebens auf der Erde ausgelöst haben könnte: Ein Gasfluss durch einen engen Wasserkanal, wie er in der Natur häufig an Gesteinsporen auftritt. „Wir haben ein plausibles und reichhaltiges geologisches Milieu untersucht, das die Replikation frühen Lebens ausgelöst haben könnte“, so Braun. Das erweitere das Repertoire möglicher Umgebungen, die eine Replikation auf frühen Planeten ermöglichen könnten, beträchtlich.

eLife 2024

## Inklusion: Förderschule ade?

### Wie ein funktionierendes Schulsystem in Bayern ohne Sonderschulen aussehen könnte

Inklusive Bildung ist ein Menschenrecht. Dennoch gibt es in Deutschland derzeit sowohl reguläre Schulen, in denen Kinder mit und ohne besonderen Förderbedarf nebeneinander unterrichtet werden, als auch reine Förderschulen. Ein Team um Markus Gebhardt vom LMU-Lehrstuhl für Sonderpädagogik hat in einer Simulationsstudie untersucht, wie ein vollständig inklusives Schulsystem verwirklicht werden könnte. In Bayern sind der-

## Quantenphysik: Der magische Kniff

### Neues Material macht einzelne Photonen im Infrarotbereich nachweisbar.

Ein internationales Team um LMU-Physiker Dmitri Efetov, Mitglied im Exzellenzcluster MCQST, hat erstmals einzelne Photonen im Infrarotspektrum mithilfe eines revolutionären Materials nachgewiesen, das aus zwei zueinander verdrehten Graphenschichten besteht. Es ist dabei erforderlich, die beiden Schichten präzise in einem Winkel von  $1,1^\circ$  zueinander auszurichten. So entsteht eine einzigartige supraleitende Phase, die sich durch eine extrem niedrige Elektronendichte auszeichnet. Sie ist zehn- bis hunderttausendmal niedriger als bei herkömmlichen Supraleitern, die üblicherweise für Einzelphotonen-Detektionsanwendungen verwendet werden. Damit lassen sich nun auch Photonen mit längerer Wellenlänge detektieren, dies ist wichtig für die Entwicklung neuartiger Quantensensoren.

Science Advances 2024



zeit etwa 15 Prozent der Schulen Förderschulen. Im Rahmen der Studie haben die Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler untersucht, was es bedeuten würde, wenn sie ganz oder teilweise geschlossen würden. „Ein Wegfall der Förderschulen könnte dazu führen, dass die regulären Schulen auf mehr Ressourcen zugreifen können“, so Markus Gebhardt. Vor allem im ländlichen Raum würde das Kindern mit sonderpädagogischem Förderbedarf zugutekommen.

Zeitschrift für Grundschulforschung 2024

„LMU aktuell“: Der monatliche Newsletter informiert über Aktuelles aus Forschung und Uni&Campus: [www.kurzelinks.de/lmu-newsletter](http://www.kurzelinks.de/lmu-newsletter)





**Schlüssel zur schnellen Planetenbildung:** Ein neues astrophysikalisches Modell eines Teams um LMU-Astrophysiker Til Birnstiel liefert tiefere Einblicke in die Prozesse zur Entstehung von Riesenplaneten wie Jupiter und könnte unser Verständnis von Planetensystemen erweitern.

*Astronomy & Astrophysics 2024*

## Wie Künstliche Intelligenz auch weniger häufige Krankheiten erkennt

**Ein neuer Ansatz kann künftig die Diagnostik unterstützen.**

KI wird in der Medizin bereits in vielen Bereichen eingesetzt und hat großes Potenzial, die Diagnose von Krankheiten zu unterstützen. KI-Modelle müssen allerdings mit zahlreichen Beispielen trainiert werden, die in der Regel nur für häufige Krankheiten in ausreichender Menge verfügbar sind. „Das wäre so, als wenn ein Hausarzt nur Husten, Schnupfen und Heiserkeit diagnostizieren müsste“, sagt Frederick Klauschen, Direktor des Pathologischen Instituts der LMU. „Die eigentliche Herausforderung ist, auch die selteneren Erkrankungen zu erkennen. Diese übersehen die aktuellen KI-Modelle häufig oder klassifizieren sie falsch.“ Klauschen hat nun, gemeinsam mit Forschenden der TU Berlin/BIFOLD und der Charité Berlin, einen neuartigen Ansatz entwickelt, der diese Einschränkung überwindet: Das neue Modell benötigt nur Trainingsdaten von häufigen Befunden, um auch die weniger häufigen Krankheiten zuverlässig zu identifizieren. Das kann die diagnostische Sicherheit verbessern und Pathologinnen und Pathologen zukünftig deutlich entlasten.

*NEJM AI 2024*

## Multiresistente Nasenkeime

**Welche Rolle Eisen im nasalen Mikrobiom spielt**

Wir teilen unseren Körper mit unzähligen Mikroorganismen. Sie bewohnen unseren Darm, die Haut und Körperöffnungen wie Mund und Nase. Wie dieses Mikrobiom zusammengesetzt ist, hat großen Einfluss auf unsere Gesundheit. Ein Forschungsteam um den LMU-Mikrobiologen Simon Heilbronner hat untersucht,

wie verschiedene Bakterien, die sich in der Nasenhöhle ansiedeln können, mit dem Eisenmangel dort umgehen und miteinander interagieren. Die Ergebnisse der Studie zeigen, dass die Zusammensetzung des Mikrobioms beeinflussen kann, wie gut multiresistente Staphylokokken in der Nase gedeihen. Das eröffnet neue Wege für die gezielte Verdrängung potenziell gefährlicher Keime über nasale Probiotika, die ohne den Einsatz von Antibiotika auskommen.

*The ISME-Journal 2024*

## Die Zahl

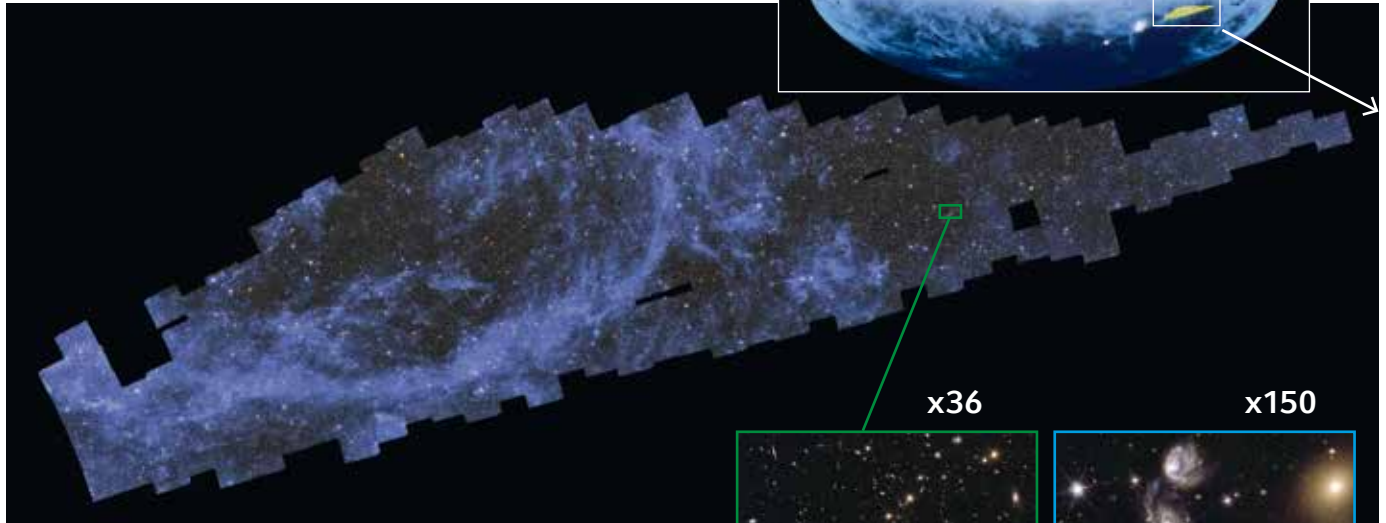
# 595.000.000 ha

Ein Team um die LMU-Forschenden Yiannis Moustakis und Julia Pongratz zeigt, dass großflächige Aufforstung einen wichtigen Beitrag dazu leisten kann, die Erderwärmung auf 1,5°C zu begrenzen. Ein von ihnen entwickeltes Szenario sieht bis 2060 eine Aufforstungsfläche von 595 Millionen Hektar vor, die bis 2100 auf 935 Millionen Hektar gesteigert wird. So könnte die globale Spitzentemperatur in der Mitte des Jahrhunderts um 0,08°C gesenkt werden und die Endtemperatur am Ende des Jahrhunderts um 0,2°C niedriger ausfallen als ohne Aufforstung.

*Nature Communications 2024*

# Euclid: Die Vermessung des Himmels

ESA-Weltraummission veröffentlicht ersten Teil einer gewaltigen Karte des Universums.



Millionen von Sternen und Galaxien sind auf dem ersten Teilstück der detaillierten Kartierung des Universums zu sehen, die das Weltraumteleskop Euclid der ESA erstellt hat. Nie zuvor konnte ein Teleskop so genaue astronomische Bilder über einen so großen Himmelsbereich anfertigen und gleichzeitig so tief ins Universum blicken. Der aufgenommene Streifen zeigt die enorme Datenqualität auf allen Ebenen, von Panoramaansichten des Universums bis zu den Details der Strukturen einzelner Galaxien. Mehrere deutsche Forschungseinrichtungen, darunter auch die LMU, nehmen an dieser Mission teil.

Der erste Teil der Karte enthält 260 Aufnahmen, entstanden zwischen dem 25. März und dem 8. April 2024. In nur zwei Wochen hat Euclid 132 Quadratgrad des südlichen Himmels erfasst, mehr als das 500-fache der Fläche, die der Vollmond am Himmel abdecken würde. „Euclid hat sein scharfes Auge auf den Himmel gerichtet und arbeitet sein Beobachtungsprogramm ab“, sagt der Physiker Frank Grupp von der LMU und dem Max-Planck-Institut für extraterrestrische Physik (MPE) in Garching, der deutsche Projektleiter. „Wir freuen uns, nun die Früchte von 15 Jahren Vorbereitung ernten zu können.“

Das aufgenommene Mosaik deckt bislang ein Prozent der gesamten Himmelsdurchmusterung ab. Sechs Jahre soll die Euclid-Mission dauern. Während dieser Vermessung beobachtet Euclid die Formen, Entfernungen und Bewegungen von Milliarden von Galaxien in bis zu zehn Milliarden Lichtjahren Entfernung. So entsteht die detaillierteste kosmische 3D-Karte, die je angefertigt wurde. Die empfindlichen Kameras haben eine unglaubliche Anzahl von Objekten in allen Einzelheiten erfasst. Selbst wenn man sehr tief in die Karte hineinzoomt, lassen sich immer noch deutlich etwa die verzweigten Strukturen einer Spiralgalaxie erkennen.

Dieses vom ESA-Weltraumteleskop Euclid erstellte Mosaikbild des Universums beinhaltet ein Prozent der Durchmusterung, die Euclid in sechs Jahren aufnehmen wird. Oben rechts ist eine Karte des gesamten Himmels zu sehen. Das Mosaik zeigt die Lage der verschiedenen vergrößerten Bilder. Über den Einzelbildern ist der Zoomfaktor angegeben. © ESA/Euclid/Euclid Consortium/NASA

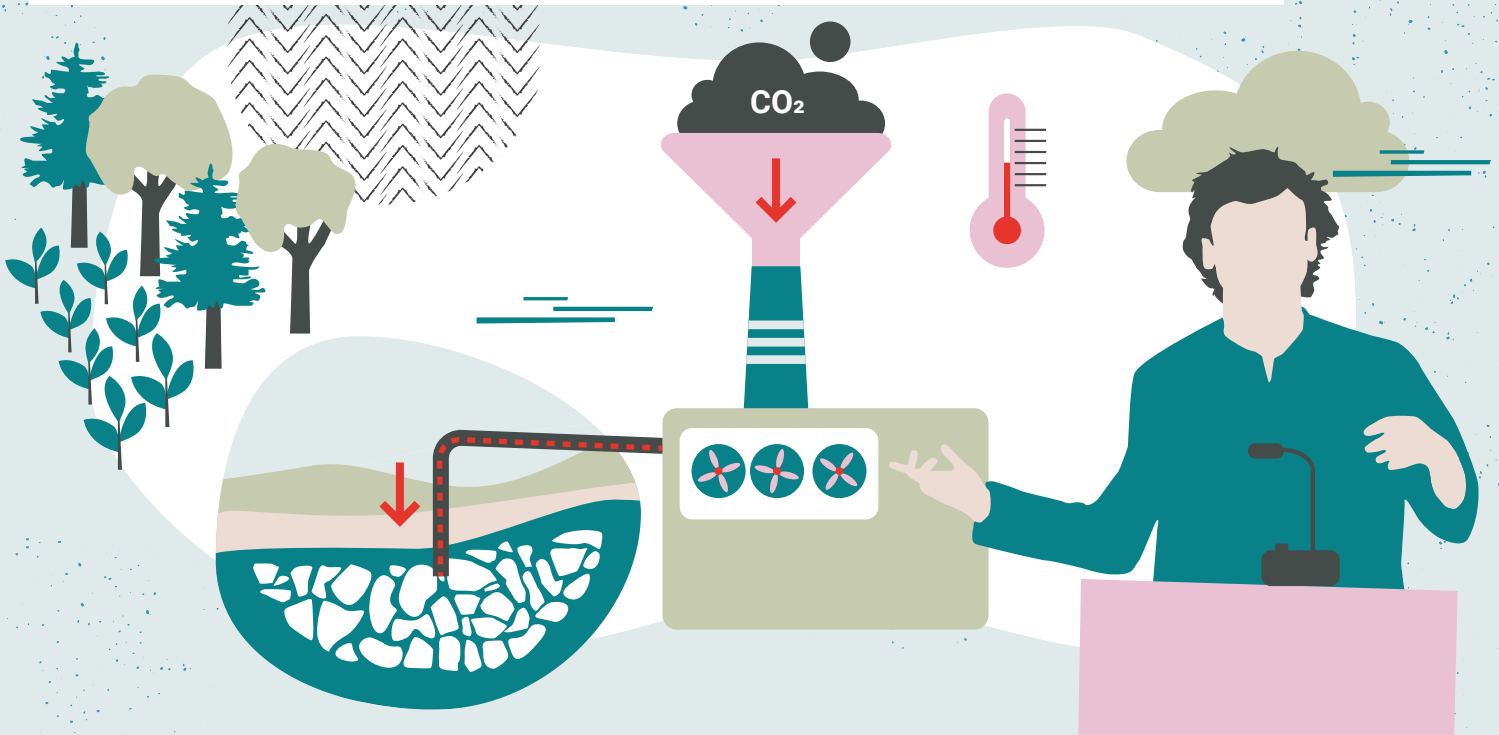
Das erste Stück der Karte enthält rund 14 Millionen Galaxien. Ihre Verteilung könnte Aufschluss darüber geben, welchen verborgenen Einfluss Dunkle Materie und Dunkle Energie auf die Struktur des Universums haben. 95 Prozent unseres Kosmos scheint aus diesen mysteriösen „dunklen“ Zutaten zu bestehen. Während die Dunkle Materie die Gravitationswirkung zwischen und innerhalb von Galaxien bestimmt und zunächst für eine Abbremsung der Ausdehnung des Weltalls sorgte, ist die Dunkle Energie für die derzeitige beschleunigte Expansion des Universums verantwortlich.

Bislang sind zwölf Prozent der Untersuchung abgeschlossen. Täglich werden etwa 100 Gigabyte an Bildern und Spektren zur Erde gesendet. Um diese gigantische Datenmenge zu verarbeiten, hat das Euclid-Konsortium neun Datenzentren aufgebaut, darunter das Deutsche Wissenschaftsdatenzentrum (SDC-DE). Es wird zehn Prozent der Daten verarbeiten. „Die sich ständig ändernde Soft- und Hardware stellt unser Team vor große Herausforderungen, um die termingerechte Verarbeitung sicherzustellen“, sagt Maximilian Fabricius (LMU und MPE), Leiter des SDC-DE. „Wir sind jedoch stolz, wie gut nun alles zusammenspielt.“



## Der Dolmetscher:

# Felix Havermann über Carbon Dioxide Removal



Es gibt wissenschaftliche Begriffe, die es in die Alltagswelt geschafft haben. LMU-Forscher erklären sie an dieser Stelle.

„Die Idee, der Atmosphäre  $\text{CO}_2$  zu entziehen, kommt schon Mitte der 1990er-Jahre auf. Carbon Dioxide Removal (CDR) nennen Experten das. Der Weltklimarat IPCC nimmt sie 1995 auf, 1997 taucht sie auch im Kyoto-Protokoll zur Reduzierung des weltweiten Treibhausgasausstoßes auf. Die wichtigsten Treibhausgase sind  $\text{CO}_2$ , Methan und Lachgas;  $\text{CO}_2$  hat den weitaus größten Anteil am menschengemachten Klimawandel. Schon früh erkennt man, dass es nicht ausreichen wird, Treibhausgas-Emissionen aus industriellen und Landnutzungsprozessen zu reduzieren, um den Klimawandel zu bekämpfen.

Es gibt neben CDR einen weiteren Ansatz, das Solar Radiation Management: Dabei greift man in den Strahlungshaushalt der Erde ein. Das Konzept ist wegen der schwer zu kontrollierenden Effekte umstritten. Daher setzt man seit mehr als zehn Jahren auf CDR. Die wichtigste Me-

thode ist eher klassisch: die Aufforstung. Bäume nehmen durch Photosynthese  $\text{CO}_2$  auf. Der Vorteil: Sie ist schnell verfügbar, günstig und hat mit mehr als 99 Prozent schon jetzt den höchsten Anteil. Ein weiterer Ansatz ist, dass man versucht, in landwirtschaftlichen Flächen verstärkt Kohlenstoff im Boden zu binden.

In jüngster Zeit kamen chemische Methoden hinzu wie Direct Air Carbon Capture and Storage (DACCS). Dabei saugen Anlagen die Umgebungsluft an, filtern das  $\text{CO}_2$  heraus und lagern es langfristig. Bezüglich der geologischen Speicher, in die man das  $\text{CO}_2$  gut pressen kann, besteht noch Forschungsbedarf. Man könnte alte Erdgas-Vorkommen nutzen, diese sind gut erfasst hinsichtlich Lecks. Alternativ käme der marine Sedimentbereich in Frage, da gibt es aber noch wenig Erfahrung.

Ausbauen ließen sich derzeit weiterhin der Bereich Aufforstung sowie Agroforstsysteme, bei denen landwirtschaftliche Flächen mit Bäumen und Sträuchern bepflanzt werden. Es gibt auch neue kombi-

nierte Verfahren wie Bioenergie mit CCS (BECCS). Man baut Bioenergiepflanzen an, die  $\text{CO}_2$  binden. Bei der Produktion von Energie wird dieses  $\text{CO}_2$  zwar freigesetzt, aber sofort industriell abgeschieden und gespeichert. Ebenso wird bereits mit Pyrolyseverfahren Pflanzenkohle hergestellt, wodurch in landwirtschaftlichen Böden langfristig  $\text{CO}_2$  gespeichert wird.

Es gibt also nicht *die* Methode, sondern eine Bandbreite von Verfahren, die es gilt in die Fläche zu bringen. Aktuell lassen sich weltweit 2,2 Gigatonnen  $\text{CO}_2$  pro Jahr entfernen, doch die Emissionen liegen bei 40 Gigatonnen  $\text{CO}_2$ . Es ist also ein Tropfen auf den heißen Stein. Vielleicht lässt sich der CDR-Anteil im Jahr 2050 auf 8-10 Gigatonnen steigern, aber um  $\text{CO}_2$ -neutral zu werden, muss die Menschheit massiv ihren Lebensstil ändern.“

Protokoll: huf; Grafik: Lisa Stanzel

LMU-Geograph Dr. Felix Havermann ist wissenschaftlicher Koordinator des Forschungsprogramms CDRterra, das Methoden zur  $\text{CO}_2$ -Entnahme an Land erforscht.

# Schwerpunkt

Was wir erben

Das Vermächtnis von Familie und Gesellschaft

Erbe – ein Begriff mit vielen Facetten: LMU-Forscherinnen und -Forscher unterschiedlicher Disziplinen berichten in dieser *Einsichten*-Ausgabe, wie die Frage nach dem Erbe auf ganz verschiedenen Ebenen ihre Forschung berührt. Sie analysieren die dramatisch ungleiche Verteilung von Vermögen, die Frage des biologischen Menschheitserbes, die Folgen von unbewältigten Traumata auch für die Nachkommen der Betroffenen sowie andererseits den Einfluss von Eltern und Umwelt auf die innere Stärke von Kindern. Und es geht um Shakespeares allgegenwärtiges Erbe sowie das Risiko der erblichen Komponente einer Brustkrebserkrankung.



# Die schiefe Ebene

Der LMU-Soziologe Fabian Pfeffer erklärt, warum das extreme Vermögensgefälle Gesellschaft und Demokratie schadet und die Chancen für kommende Generationen höchst ungleich verteilt.

Interview: Hubert Filser und Martin Thureau

Reichtum kennt auch in Deutschland offenbar kaum Grenzen. Die zehn wohlhabendsten Deutschen bringen es zusammen auf ein Vermögen von mehr als 200 Milliarden Dollar. Im internationalen Vergleich sind sie damit allerdings eher Mini-Musks. Der Tesla-Chef, der mittlerweile im globalen Ranking Jeff Bezos von Amazon überholt hat, kommt allein auf 240 Milliarden. Ist dieses Wachstum ein globaler Trend und ist die Skala da nach oben offen?

**Fabian Pfeffer:** Wir haben einmal versucht, in einem Erklärvideo zu fassen, wie exorbitant die Vermögensungleichheiten sind. Würde man das Vermögen von Herrn Musk in Ein-Dollar-Münzen stapeln, reichte diese Säule von der Erde weit über den Mond hinaus – astronomisch im wahrsten Sinne des Wortes. Diese absoluten Extreme sind in Deutschland etwas weniger ausgeprägt, da geht der Stapel der Vermögendsten ‚nur‘ bis zur Internationalen Raumstation. Aber die Zahl der Multimilliardäre und ihre Vermögen steigen. Doch auch abgesehen vom allerersten Rand gibt es eine sehr starke Ungleichverteilung über das gesamte Spektrum hinweg. Ich nenne das die ‚Vermögensungleichheit der unteren 99 Prozent‘.

Wie sieht die aus?

**Pfeffer:** Es heißt ja gerne, dass Deutschland dank seiner Anstrengungen, die Ungleichheit etwa dank unserer wohlfahrtsstaatlichen Investitionen im Zaum zu halten, im internationalen Vergleich noch relativ gut dasteht. Das gilt allerdings nur

für die Verteilung der Einkommen. Auch dort ist die Ungleichheit in den letzten Jahren gewachsen, aber sie fällt geringer aus im internationalen Vergleich, da liegt Deutschland vielleicht im Mittelfeld. Aber bei den Vermögen sind wir nicht so weit hinter den USA. Wir messen Ungleichheit oft mit dem sogenannten Gini-Koeffizienten, der geht von null bis eins. Null würde bedeuten, alle Haushalte hätten das genau gleiche Vermögen. Das andere Extrem: Eins hieße, einer besäße alles. Deutschland liegt hier bei ungefähr 0,80.

Wo ist der Wohlstand denn einigermaßen ausgeglichen?

**Pfeffer:** Wir schauen oft auf die skandinavischen Länder. Doch auch hier gilt: Die Einkommensverteilung ist vergleichsweise egalitär, aber die Vermögensungleichheit in Schweden oder Norwegen ist in etwa so hoch wie in Deutschland. Ein interessantes Beispiel ist die Slowakei, das konnten wir in einem internationalen Vergleich zeigen. Dort ist die Vermögensverteilung wesentlich gleichmäßiger.

Woher kommt das?

**Pfeffer:** Die Vermögensungleichheit hängt in den meisten Ländern im Wesentlichen davon ab, wie ungleich Hauseigentum verteilt ist. Dabei geht es nicht nur um die Eigentümerquote, darum also, wie viele Familien sich ein Haus leisten können, sondern auch um die Verteilung des Hausvermögens. Und da sticht die Slowakei heraus, da beim Zusammenbruch des Sozialismus das Wohneigentum neu verteilt wurde. Praktisch wurde fast jeder zum

Wohneigentümer gemacht und konnte im Unterschied zur DDR dieses Wohneigentum auch halten.

## Wer über Geld verfügt, kann Zugang zu Chancen erkaufen

Vermögen bringt Vorteile, die ja weit über die Möglichkeiten hinausgehen, sich einen hohen Lebensstandard zu leisten. Worin liegen die wahren Vorteile von Vermögen?

**Pfeffer:** Wir unterscheiden mehrere Funktionen von Vermögen. Eine davon ist die Kauffunktion. Wenn ich über Geld verfüge, das ich investieren kann, kann ich mir den Zugang zu Chancen erkaufen: Ich kann meine Kinder auf Privatschulen schicken, ich kann Nachhilfeunterricht bezahlen, ich kann meinen Kindern Aktivitäten ermöglichen, die Bildungswert für sie haben. Ich kann sie an teure Universitäten im Ausland schicken.

Aber die Vorteile von Vermögen bei der gesellschaftlichen Positionierung reichen ja noch weiter.

**Pfeffer:** Genau. Was mich in meiner Forschung besonders interessiert, ist die Versicherungsfunktion von Vermögen. Familiäres Vermögen schafft ein privates Sicherheitsnetz und wirkt in gewisser Weise ähnlich wie unsere öffentlichen Sicherungssysteme. Wenn es um Investitionen in die Zukunft geht, um die Gründung einer Firma etwa, oder seien es auch Investitionen in den Bildungs- und Berufs-







Ein Land der Ungleichheiten: Was die Verteilung der Vermögen angeht, „sind wir nicht so weit hinter den USA“, sagt Soziologe Fabian Pfeffer. Das Vermögensgefälle „hängt in den meisten Ländern im Wesentlichen wiederum davon ab, wie ungleich Hauseigentum verteilt ist.“ Foto: Florian Generotzky

## »Wir lassen Wachstumsmöglichkeiten auf dem Tisch liegen, wenn bestimmte Chancen nur denen erwachsen, die ein privates Sicherheitsnetz haben.«

erfolg der Kinder. Oder die Frage, was die Kinder studieren. Überall gibt es da Risiken, die durch elterliches Vermögen abgefedert werden. Allein schon das Wissen darum, dass sie sich im Notfall auf elterliches Vermögen verlassen könnten, ändert wahrscheinlich schon ihre Entscheidung. Diese Versicherungsfunktion ist fundamental.

Wie wirkt sie sich aus?

**Pfeffer:** Wir konnten zeigen, dass sich ein deutlicher Zusammenhang zwischen elterlichem Vermögen und dem Erfolg der Kinder ergibt, nicht nur in den USA mit ihren dominierenden Privatschulen und -universitäten, sondern auch in Deutschland und gar in Schweden. Damit überträgt sich die Vermögensungleichheit auf die nächste Generation. Der Versicherungseffekt zeigt sich auch an anderer Stelle: Mit einem Kollegen vom Wissenschaftszentrum in Berlin können wir zeigen, dass Vermögen auch oft zur Überbrückung von Arbeitslosigkeit eingesetzt wird. In vielen Fällen hat dies auch eine intergenerationale Komponente: Manchmal ist es elterliches Geld, das diese Scarring Effects, die Narbeneffekte von Arbeitslosigkeit, abfängt und eine Einkommenslücke verhindert. Das zeigen zum Beispiel unsere laufenden Arbeiten aus Schweden.

Man könnte ja auch noch weitere Bereiche des Lebens durchgehen, Gesundheit etwa oder kulturelles Kapital. Im Endeffekt ist es ja alles verbunden mit mehr Sicherheit und mehr Möglichkeiten. Kann man das so zusammenfassen?

**Pfeffer:** Absolut. Und da ist die deutsche Sprache sehr reich, weil ja das Wort Ver-

mögen das auch schon beinhaltet. Es steht einerseits für das Kapital und andererseits für das Vermögen, etwas zu tun, also die Möglichkeiten, die es eröffnet.

Das heißt, es geht um weit mehr als um eine Neiddebatte, darum, dass da einer ist, der viel mehr hat als man selbst? Sondern um strukturelle Defizite, die mit unfairen Verteilungen zu tun haben?

**Pfeffer:** Ja, sicherlich, wobei ‚unfair‘ natürlich eine normative Kategorie ist. Ich denke, es gibt gute Argumente dafür zu sagen, dass eine Gesellschaft, die Ungleichheit intergenerational vererbt, sowohl eine weniger gerechte Gesellschaft ist als auch eine ökonomisch weniger effiziente. Wir lassen Wachstumsmöglichkeiten auf dem Tisch liegen, wenn bestimmte Chancen nur denen erwachsen, die ein privates Sicherheitsnetz haben.

### Das Verschmelzen von Machtpositionen und politische Einflussnahme

Vermögen eröffnet auch Möglichkeiten der politischen Einflussnahme ...

**Pfeffer:** In den USA ist die Einflussnahme offensichtlich, schon mit dem Finanzierungssystem der Parteien. In Deutschland haben wir da noch andere Regeln, trotzdem gibt es natürlich auch hier Einflussnahme. Man kann sich beispielsweise fragen, wie die Ausnahmen, wie wir Betriebe vererben können und wie wir weiteres Kapital in Betriebe stecken können, damit es dann steuerfrei vererbt wird, in die Steuergesetze kommen und

für wen die gemacht sind. Wohl nicht für die 95 Prozent der Familienunternehmen, die vielleicht die meisten Deutschen bei dem Begriff im Sinn haben, den kleinen Bauernhof oder den Handwerksbetrieb.

Es gibt weltweit zahlreiche Beispiele, dass sehr reiche Personen oder Unternehmen Medien- und Verlagshäuser kaufen, die teilweise nicht zu ihrem Kerngeschäft gehören. Wie viel Macht bekommen diese Eigentümer damit?

**Pfeffer:** Ich denke da an den US-Soziologen Charles Wright Mills, der schon in den 1950er-Jahren beschrieb und dafür sehr angefeindet wurde, wie sich die Eliten in Ökonomie, Politik und Militär zu einer Machtelite koordinieren. Mittlerweile sind wir an einem Punkt angelangt, an dem es nicht mehr um Koordinierung, sondern um Personalunion geht. Wenn ein Großunternehmer eine einflussreiche Tageszeitung aufkauft und dann die traditionelle Wahlempfehlung des Blattes zur US-Wahl verhindert, bedeutet das ein Verschmelzen von Machtpositionen.

Fragwürdig?

**Pfeffer:** Ich stelle mir vor, wie in 250 Jahren die Geschichtsbücher geschrieben werden. Da steht dann beispielsweise drin, dass ein Tech-Milliardär die Entscheidungshoheit darüber hatte, ob Satelliten in einem Kriegsgebiet an- oder ausgestellt werden. Das wird im Rückblick wahrscheinlich nur dystopisch zu nennen sein. Vielleicht wird man mit großer Verwunderung auf unser Jetzt schauen, dass solche extremen Vermögensungleichheiten sich durchgesetzt haben und Machtkonzentrationen akzeptiert wurden.





Eine deutsche „Spezialität“: Ein substanzieller Teil der Mietbevölkerung wohnt in Genossenschaftswohnungen. Im internationalen Vergleich gelte so etwas als „hochradikal“, sagt Fabian Pfeffer. Genossenschaftsbauten im Münchner Westend. Foto: Stephan Rumpf / SZ-Photo / Picture Alliance

Drohen der Demokratie Gefahren, ein weiteres Auseinanderdriften der Gesellschaft?

**Pfeffer:** Die Gefahr sehe ich. Ich muss jetzt allerdings auch eine klassische Wissenschaftlerantwort geben: Das bedarf noch weiterer Forschung. Wir untersuchen, ob Vermögensungleichheit und das Zurückbleiben von ganzen Bevölkerungsgruppen hinter dem sich absondernden obersten Teil, ob genau diese Entwicklung den sozialen Zusammenhalt gefährdet. Vor Kurzem bin ich mit einem Fernsehredakteur nach Hof gefahren, Schwabinger Professor trifft arme Gemeinde, so in etwa. Er ist mit mir durch die Stadt gegangen, wir haben mit Leuten geredet, die sich in Fußballvereinen oder der Sozialarbeit engagieren. Es ging genau um die Frage: Fällt hier etwas auseinander?

Und?

**Pfeffer:** In den USA erschien im Jahr 2000 ein berühmtes Buch von Robert D.

Putnam, das hieß *Bowling Alone*, also: Alleine Kegeln. Der Politikwissenschaftler beschreibt darin unter anderem am Beispiel der Kegelclubs, wie gemeinschaftsstiftende Institutionen allmählich aus dem amerikanischen Leben verschwinden. In meinen 19 Jahren in den USA habe ich es kaum anders erlebt: Es gibt dort zunehmend weniger Begegnungsorte, in denen sozialer Zusammenhalt gelebt wird. In Deutschland haben wir derzeit noch eine Vielzahl von Institutionen und Organisationen, die den Zusammenhalt befördern. Wir haben eine öffentliche Infrastruktur, wir haben Vereine – eine reiche Tradition, die es zu bewahren gilt.

Das Verschwinden solcher Systeme wäre ein Frühwarnsignal?

**Pfeffer:** Absolut. Ich sehe es als ein deutliches Warnsignal, wenn unsere öffentliche Infrastruktur bröckelt, egal ob nun Schwimmbäder und Turnhallen, Vereins-

heime und Sozialzentren, Kindergärten, Schulen oder Universitäten. In meiner eigenen Forschung unterscheide ich zwischen Privatvermögen und öffentlichem Vermögen. Und alles, was ich gerade beschrieben habe, diese Institutionen der Integration, gehören für mich zum öffentlichen Vermögen. Wir können uns fragen, wie viel Vermögen wir in privaten Händen akkumulieren lassen und wie viel Vermögen wir als öffentliches Vermögen hier in diesem Land halten wollen. Eine entsprechende Gewichtung wäre durch steuerliche Umverteilung machbar.

Viel Geld von Superreichen fließt auch zu guten Zwecken. Die Bereiche sind vielfältig: medizinische Forschung, Entwicklungshilfe, Bildungsprojekte. Sie selbst bauen mit Geld der Stone Stiftung in München ein Institut zu sozialer Ungleichheit auf.

**Pfeffer:** Dass Vermögende in wohltätige Zwecke investieren, ist natürlich begrü-

## »Für mich werden die erfolgreichen Gesellschaften diejenigen sein, denen es gelingt, das Vermögen als öffentliches Vermögen zu konzentrieren, in Institutionen, die allen zugänglich sind.«

benswert. Man kann sich aber auch fragen, ob es nicht viele Aufgaben gibt, wo wir die Entscheidungsmacht nicht in den Händen von vermögenden Menschen belassen sollten. Warum sie nicht dem demokratischen Prozess zum Aufbau öffentlichen Vermögens und zur Ausgestaltung des Sozialstaates aussetzen?

Vermögen oder die Weitergabe von Vermögen wird Schätzungen zufolge effektiv mit drei Prozent besteuert, Arbeit mit 30 Prozent.

**Pfeffer:** Diese Ungleichbehandlung bei der Steuer besteht. Als Beispiel: Die Bemessungsgrenze bei der Vererbung von Firmen etwa liegt in Deutschland bei 26 Millionen Euro. Bis zu diesem Wert ist die Weitergabe an die nächste Generation unter bestimmten Voraussetzungen steuerfrei. 26 Millionen, das sind nicht der kleine Bauernhof oder die Bäckerei von nebenan, auch nicht der Meisterbetrieb im Handwerk. Und wenn Sie ein Häuschen von Ihrer verstorbenen Mutter erben und dort wohnen, behalten Sie dieses Häuschen – ohne Erbschaftssteuer und ungeachtet der vielen Vorteile, die Sie aus diesem Hauseigentum schon zuvor hatten. Interessanterweise ist die Wahrnehmung in der Bevölkerung eine andere. Da wird die Erbschaftssteuer oft als Todessteuer vermaledeit.

In Deutschland stehen wir vor einem bemerkenswerten Generationswechsel. Die Babyboomer-Generation geht in den kommenden Jahren in Rente und wird dann irgendwann ihr Vermögen vererben. Was bedeutet das in Zukunft für die Verteilung von Besitz?

**Pfeffer:** Wir stehen vor einem Vermögenstransfer, wie wir ihn noch nie gesehen haben. Das ist natürlich auch die Dividende der langen Friedenszeit, in der Familien Vermögen akkumulieren konnten. Mit dem Ableben der Babyboomer-Generation wird dieses nun weitergegeben.

Das klingt nach einem Aber.

**Pfeffer:** Die Vermögensungleichheit allerdings hat sich schon lange vor dem Ableben der Eltern vererbt. Im Schnitt erhalten Sie eine Erbschaft in Deutschland, wenn Sie 50 Jahre alt sind. Mit 50 haben Sie schon einen Großteil Ihres eigenen Vermögensaufbaus betrieben. Und genau dieser Vermögensaufbau wurde natürlich schon bevorteilt, wenn Sie aus einer wohlhabenden Familie kommen. Das heißt im Rückschluss: Wenn also ein Großteil des elterlichen Vermögens schon lange vor dem Erbfall seine Wirkung zeigt, werden Sie auch mit der Erbschaftssteuer nur einen kleinen Teil gegensteuern können. Eine frühere Besteuerung, zum Beispiel indem man die Vermögenssteuer wieder einführt, würde dem entgegenwirken. Dazu muss man noch sagen, dass die direkte Umverteilungswirkung auch bei der Vermögenssteuer, zumindest in der gewohnten Größenordnung, recht gering ausfiele. Allerdings würde sie für ein höheres Steueraufkommen sorgen, das sich für den Aufbau öffentlichen Vermögens nutzen ließe.

Kommen wir noch einmal zum Wohneigentum. Der Markt hat sich dramatisch verändert.

**Pfeffer:** Wohnen stellt eine der zentralen Dimensionen der sozialen Ungleichhei-

ten dar. Das ist ein Trend in vielen Nationen. In den USA etwa gibt es auf dem Immobilienmarkt eine große Konzentrationsbewegung, und mit und infolge der sogenannten Großen Rezession von 2008 hat die Ungleichheit auch im Hausvermögen dort noch einmal extrem zugenommen.

### Mit wertvollen Wohnimmobilien Monopoly spielen

Nähern wir uns in Städten, in denen der Immobilienmarkt hochkocht, wie München, Frankfurt, Hamburg, Berlin, den Londoner Verhältnissen an, wo die Oligarchen dieser Welt längst mit Wohnimmobilien Monopoly spielen?

**Pfeffer:** Internationales Finanzkapital wird derzeit oft in Städten angelegt. Es gibt Daten zu kanadischen Städten, zum Beispiel für Vancouver, in denen gezeigt wurde, dass in der attraktiven Innenstadt viele Wohnungen gar keinen Elektrizitätsanschluss mehr haben. Sie wurden von globalen Supervermögenden aufgekauft, die dort ihr Geld parken. Da ist der Strom nicht mehr freigeschaltet, weil ohnehin niemand mehr dort wohnt. Das mögen besonders krasse Fälle sein. Doch auch einigen Großstädten in Deutschland könnten ähnliche Probleme bevorstehen.

Düstere Aussichten?

**Pfeffer:** In Deutschland gibt es immerhin eine Spezialität: Ein substanzieller Teil der Mietbevölkerung wohnt in Genossenschaftswohnungen. Wenn Sie das einem





Amerikaner erzählen, würde der das für unmöglich halten. Im internationalen Vergleich gilt genossenschaftliches Wohnen als hochradikal. Wir haben also – genauso wie mit den deutschen Vereinen – Modelle, die der Marktkonzentration etwas entgegensetzen könnten. Solange wir noch in dieser Sozialisierung aufwachsen, in der wir integrative Strukturen und Institutionen haben, die in gewisser Weise dem Kapitalmarkt entzogen sind, haben wir Denkmolelle, auf die wir aufbauen können.

Kommen wir zur Abteilung Utopie: Welche Form der Vermögensverteilung würden Sie denn als wirklich gerecht erachten?

**Pfeffer:** Heiße Frage. Ungleichheitsforschende haben oft sehr präzise Informationen zur Ungleichheit, aber nicht unbedingt eine durchdachte Einstellung zur Gleichheit. Für mich werden die erfolgreichen Gesellschaften diejenigen sein, denen es gelingt, das Vermögen als öffentliches Vermögen zu konzentrieren, in Institutionen, die allen zugänglich sind. Ungleichheit im Besitz gibt es in allen Gesellschaften. Ich wünsche mir eine Gesellschaft, die sich mit einer öffentlichen Infrastruktur um die Menschen so kümmert, dass möglichst alle die gleichen Chancen haben, ein erfülltes Leben zu führen und ihr eigenes Potenzial zu erfüllen. In einer solchen Gesellschaft ist es im Idealfall nicht mehr entscheidend, ob der eine noch ein paar Euro mehr hat.

#### Professor Dr. Fabian Pfeffer

ist Inhaber des Lehrstuhls für Soziale Ungleichheit und Soziale Strukturen an der LMU und Gründungsdirektor des Munich International Stone Center for Inequality Research (ISI). Pfeffer, Jahrgang 1979, studierte Soziologie an der Universität zu Köln und an der University of Wisconsin-Madison (USA), wo er auch seinen Ph.D. machte. Danach lehrte und forschte er an der University of Michigan in Ann Arbor (USA). Dort baute er auch das Stone Center for Inequality Dynamics auf, bevor er 2023 an die LMU kam.

Abteilung Utopie: „Ich wünsche mir eine Gesellschaft, die sich mit einer öffentlichen Infrastruktur um die Menschen so kümmert, dass möglichst alle die gleichen Chancen haben, ein erfülltes Leben zu führen“, sagt Soziologe Fabian Pfeffer. Foto: Florian Generotzky

# Wie wir wurden, wer wir sind

Der LMU-Evolutionsanthropologe Wolfgang Enard sucht in unseren Genen nach Spuren der Menschwerdung. Der Vergleich mit verwandten Arten hilft ihm dabei, Mechanismen der Evolution aufzudecken und die Vergangenheit zu rekonstruieren.

Von Dominic Anders

Auf dem Schreibtisch von Wolfgang Enard sitzt ein Affe. Die bronzefarbene Statue eines Schimpansen hockt in Denkerpose auf einem Stapel Bücher. „Wir sind uns ähnlicher, als wir manchmal wahrhaben wollen“, sagt Enard. Er muss es wissen, schließlich erforscht der Professor für Anthropologie und Humangenomik seit Jahren Gemeinsamkeiten und Unterschiede im Erbgut von Menschen und anderen Tieren. Ja, auch der Mensch ist ein Tier. Ein Menschenaffe, so wie Schimpanse, Gorilla und Orang-Utan. Doch so ganz richtig fühlt es sich für den Laien nicht an, zwischen diesen Schwesterarten an der großen Familientafel Platz zu nehmen. Irgendwie ist der Mensch doch außergewöhnlich, oder? Nicht die Krone der Schöpfung vielleicht, aber doch zumindest das Wunderkind der Evolution. Schließlich sind wir die Art, die den gesamten Planeten erobert hat. Doch wie genau ist es dazu gekommen?

„Die Frage nach unserer Herkunft, also unserer biologischen Identität, ist ganz zentral für viele Menschen“, glaubt der Münchner Evolutionsanthropologe. „Das scheint tief in der menschlichen Psyche verankert zu sein.“ Es fällt nicht schwer zu akzeptieren, dass es bei Fliegen verschiedene Unterarten gibt, die sich vermischt haben. Aber sobald es beispielsweise um unser Verhältnis zu den Neandertalern geht, wird es sofort bedeutungsschwer.

Der Weg vom Affen zum Menschen ist nur schwer zu rekonstruieren. Wir lieben Geschichten, bei denen die Hauptfigur zielstrebig und geradlinig von A nach B gelangt. Aber die Evolution schert sich nicht um gutes Storytelling. Unser Genom ist das Erbe von mehr als vier Milliarden Jahren Evolution. Verschiedenste Umweltbedingungen, ökologische Nischen und Zufälle haben es über diese Zeit hinweg in unzähligen Selektionsrunden verändert und geprägt. Viele Faktoren, die dabei mitspielen, sind ineinander verschlungen und haben sich stetig gegenseitig beeinflusst. Und bei uns Menschen ist das Aufdröseln dieser Fäden noch einmal verzwickter als bei anderen Lebewesen.

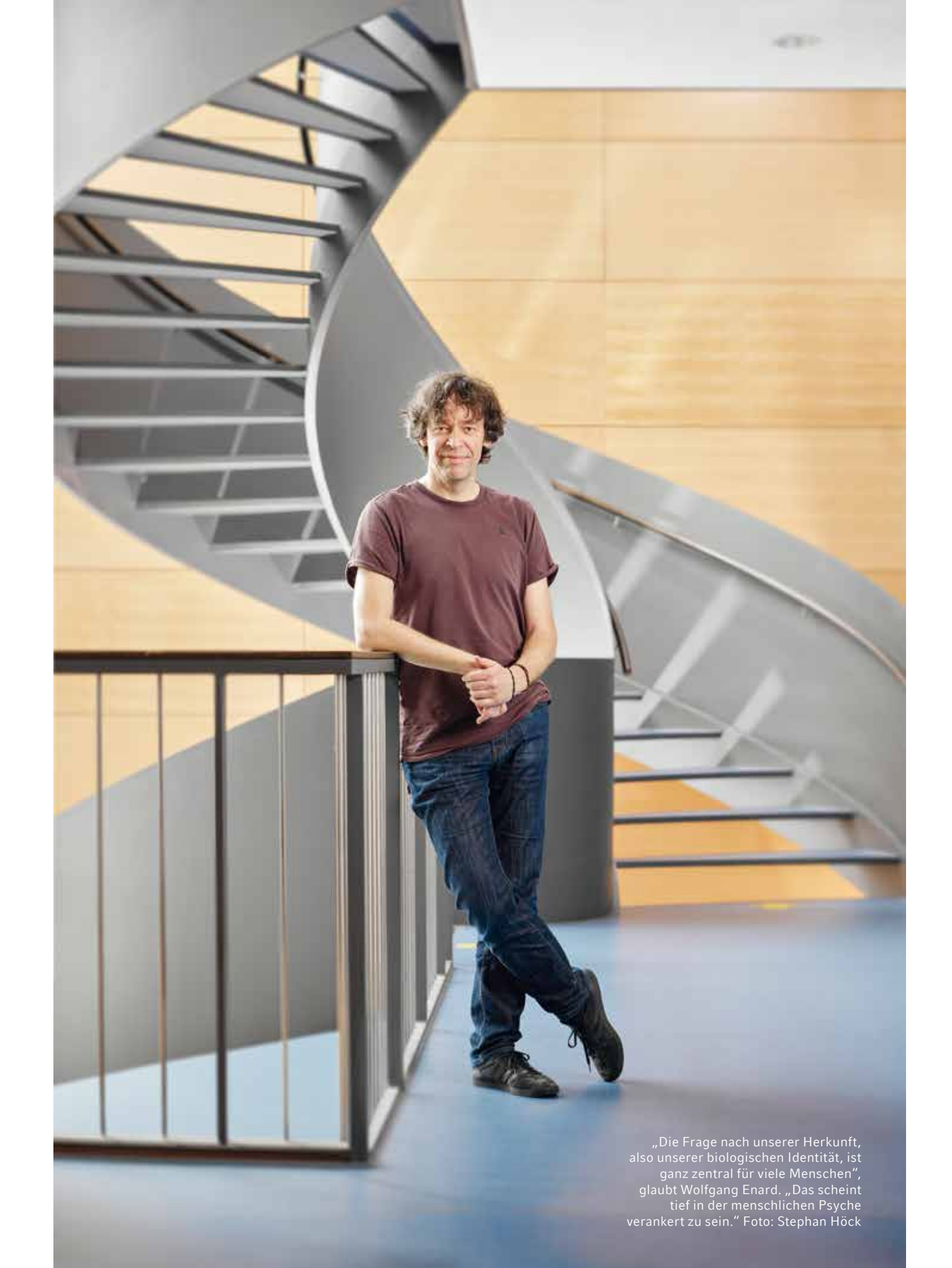
## Kulturelle und genetische Faktoren beeinflussen sich gegenseitig

Grund dafür ist ein Prozess, der sehr viel schneller vor sich geht als genetische Anpassung: die kulturelle Evolution. In Gang gesetzt wurde sie durch unsere ausgeprägte Fähigkeit, sozial zu lernen. „Setzt man einen noch so schlaun Menschen allein im Urwald aus, verhungert er trotzdem.“ Unsere Intelligenz allein könne unseren immensen Einfluss auf die Welt also nicht erklären, stellt Enard klar. „Es ist die Verbindung der einzelnen Hirne, die den Ausschlag gibt – und das gilt nicht nur für die moderne Welt, sondern war schon immer so.“ Dieser kulturelle Faktor ist im Laufe der Menschwerdung

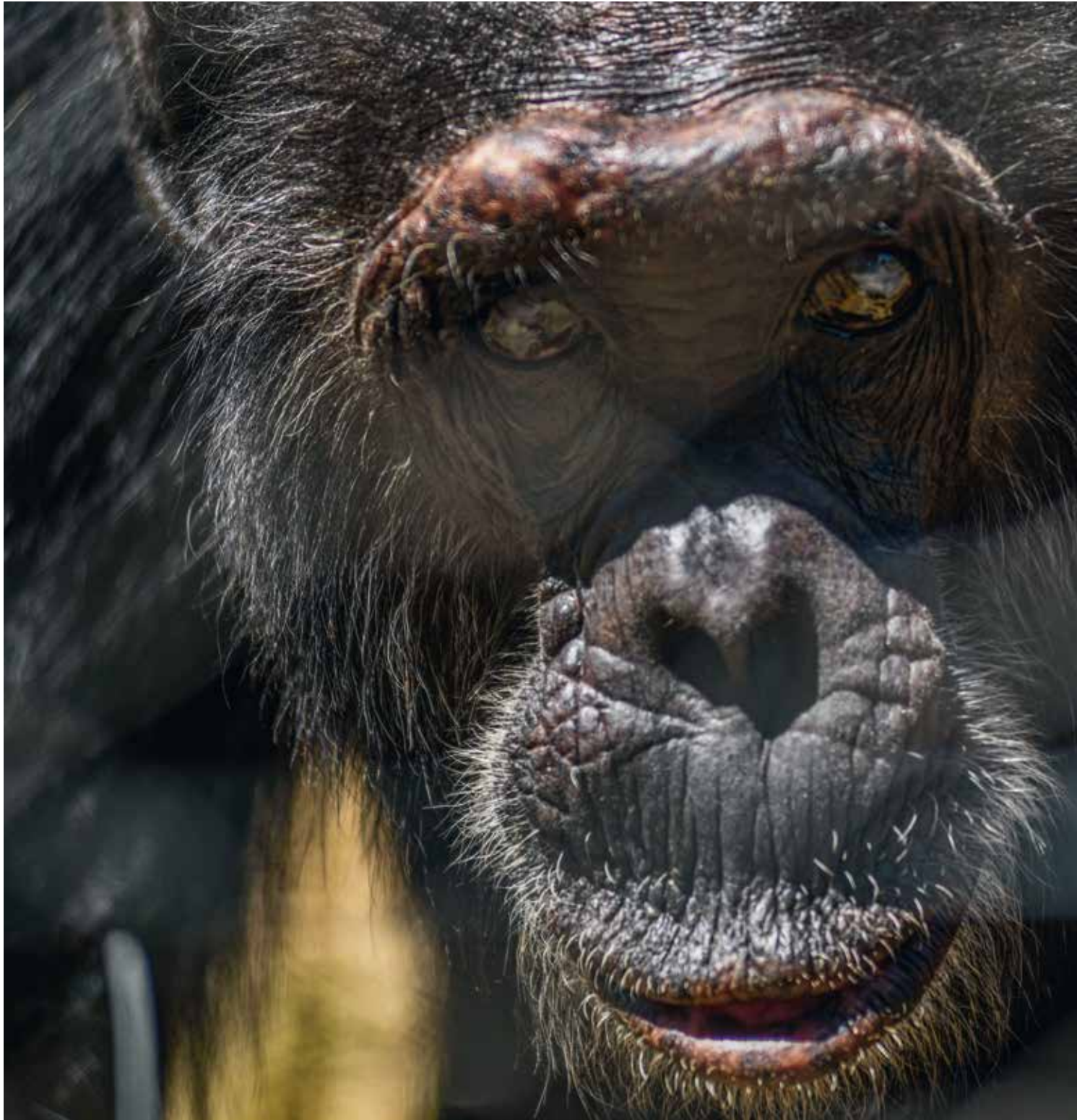
auch mit biologischen Prozessen in Wechselwirkung getreten: Wer komplexe Zusammenhänge lernen und sozial mit anderen interagieren will, braucht dafür ein großes Gehirn. Umgekehrt braucht ein großes Gehirn viel Energie und ausreichend Zeit, um mit Wissen befüllt zu werden. Anders als beispielsweise Muskelgewebe kann ein Gehirn sich in schlechten Zeiten nicht zurückbilden, um Energie zu sparen. Es braucht konstante Versorgung, auch wenn es noch nicht ausgereift und ohne Hilfe der Eltern überlebensfähig ist. Mit anderen Worten: Je größer und komplexer das Hirn eines Kindes, desto mehr Aufwand ist nötig, um es mit Erfolg großzuziehen. Ein kultureller Faktor, der hier zum Tragen kommt, war es, die Last auf mehrere Schultern zu verteilen. Großeltern und andere Verwandte halfen mit, die konstante Energiezufuhr für das sich entwickelnde Gehirn des Kindes zu stemmen. Das ermöglichte mehr Freiraum für ein noch größeres Gehirn. Das große Gehirn und unser komplexer werdendes Sozialverhalten haben sich also in einer Positivschleife gegenseitig verstärkt. Das hat sich die Evolution fein ausgedacht für uns. Hat sie aber nicht.

Denn Evolution denkt nicht. Und sie plant nicht im Voraus: „Das berühmte Bild vom Affen, der sich allmählich zum modernen Menschen aufrichtet – der kontinuierliche Aufstieg des Menschen –, ist eines der ikonischen und gleichzeitig verwirrendsten Bilder der Wissenschaftsgeschichte.“ Enard meint den March of Progress – jene weltbekannte Illustration der

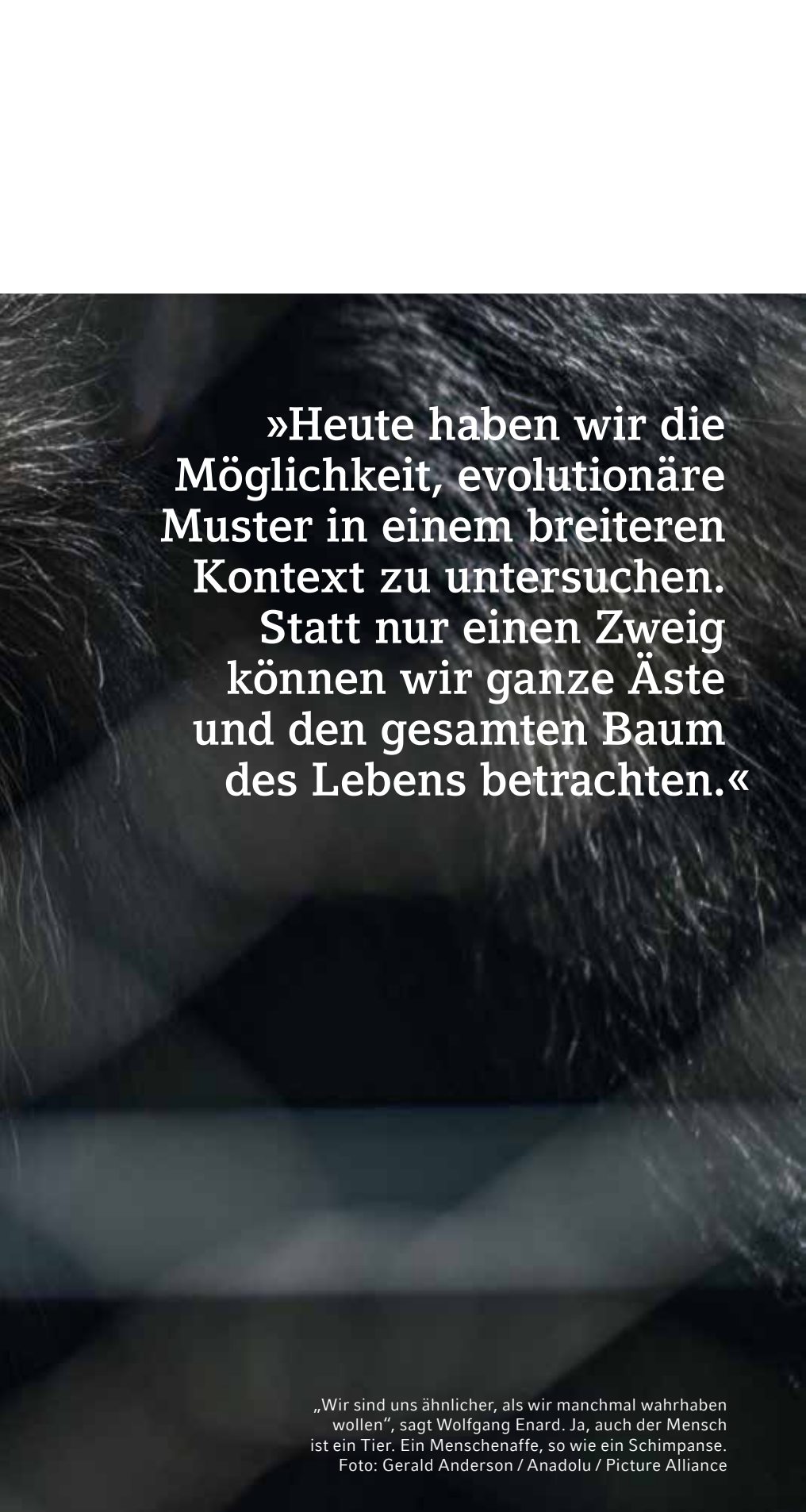




„Die Frage nach unserer Herkunft, also unserer biologischen Identität, ist ganz zentral für viele Menschen“, glaubt Wolfgang Enard. „Das scheint tief in der menschlichen Psyche verankert zu sein.“ Foto: Stephan Höck







**»Heute haben wir die Möglichkeit, evolutionäre Muster in einem breiteren Kontext zu untersuchen. Statt nur einen Zweig können wir ganze Äste und den gesamten Baum des Lebens betrachten.«**

„Wir sind uns ähnlicher, als wir manchmal wahrhaben wollen“, sagt Wolfgang Enard. Ja, auch der Mensch ist ein Tier. Ein Menschenaffe, so wie ein Schimpanse.  
Foto: Gerald Anderson / Anadolu / Picture Alliance

menschlichen Evolution, die inzwischen in allen möglichen Variationen Tassen und T-Shirts ziert. „Die Idee, Evolution sei Fortschritt, ist weit verbreitet, aber wie die meisten Fortschrittsgeschichten schlichtweg falsch.“ Die Evolution habe nie entschieden, die Gehirne entlang unserer Ahnenlinie immer größer zu machen, um sie im Menschen schlussendlich zur Vollendung zu bringen. Ob Gehirne größer oder anderweitig verändert werden, wird mit jeder Generation zwischen einer Art und ihrer Umwelt neu ausgehandelt. Und ob der Mensch mit seinem großen, komplexen Gehirn langfristig erfolgreich ist, wird sich zeigen.

**Evolution ist  
nicht Fortschritt,  
sondern Anpassung**

In der Tat ändern sich Gehirngrößen ständig im Stammbaum des Lebens. Überdurchschnittlich große Gehirne haben sich nicht nur beim Menschen entwickelt, sondern auch bei anderen Tiergruppen – bei Delfinen zum Beispiel. Indem wir uns mit solchen Arten vergleichen – genauso wie mit unseren nächsten Verwandten –, können wir versuchen, generell zu verstehen, wie die Evolution größere Gehirne hervorbringt. Genau das ist auch eine der Fragen, denen Enard in seiner Forschung nachgeht. Solche vergleichenden Ansätze sind inzwischen dank moderner DNA-Sequenzierungstechnologie möglich. Die Entwicklung des Gehirns setzt sich aus unzähligen kleinen genetischen Puzzleteilen zusammen. Hat man ein solches identifiziert, zum Beispiel indem man die Wirkung einer bestimmten genetischen Veränderung an Labormäusen testet, stellt sich als Nächstes die Frage: Hat sich dieses Gen auch tatsächlich im Laufe der Evolution verändert? Findet sich eine bestimmte Genveränderung

## »Die Idee, Evolution sei Fortschritt, ist weit verbreitet, aber wie die meisten Fortschrittsgeschichten schlichtweg falsch.«

entlang der Stammeslinie der Primaten? Hat der Delfin für sein Gehirn dieselbe Mutation entwickelt oder eine andere Lösung gefunden? „Mit der zusätzlichen Dimension der Phylogenie und dank moderner Genomik haben wir heute die Möglichkeit, evolutionäre Muster in einem breiteren Kontext zu untersuchen.“ Für Enard ist dieser Blick in die Breite revolutionär. „Statt nur einen Zweig können wir ganze Äste und den gesamten Baum des Lebens betrachten.“

### Was verwandte Arten über uns erzählen

Inzwischen ist eines ziemlich klar: Dass die Gemeinsamkeiten die Unterschiede deutlich überwiegen. Sämtliche Lebewesen auf dem Planeten Erde bilden eine große, bunte Familie. „Die vielleicht überraschendste Erkenntnis der Biologie der letzten 50 Jahre ist, wie ähnlich wir uns letztlich alle sind.“ Grundlegende molekulare Prozesse und Entwicklungsmechanismen sind bei den meisten Organismen nahezu identisch. Nur deswegen können Forschende Mäuse und Fliegen als Modellorganismen für den Menschen verwenden.

Anstatt nur die Gensequenzen verschiedener Arten nebeneinanderzulegen und zu vergleichen, untersucht der LMU-Biologe aktuell, wie die Gene jeweils reguliert werden. Konkret: Wie sich Stamm-

zellen in Nervenzellen verwandeln – ein Prozess, der bei allen Säugetieren im Zuge der Gehirnentwicklung passiert. „Wir suchen nach Gruppen von Genen, die in allen Arten gleich reguliert werden, denn diese sind wahrscheinlich funktionell relevant.“ Unterschiede in der Genregulation könnten hingegen auf artspezifische Anpassungen hindeuten. Enards Team nutzt dafür sogenannte induzierte pluripotente Stammzellen, die es erlauben, diese Prozesse, kostengünstig und ohne Tierleid, in der Petrischale zu simulieren.

Eine Herausforderung ist jedoch die Beschaffung der Proben: Die aktuellen Hauptspender für die Stammzellen sind Zootiere. „Wir haben überlegt, es mit Haarwurzeln zu versuchen“, erinnert sich Enard, „aber Gorillas sind nicht gerade begeistert, wenn man ihnen Haare ausreißt.“ Sein Team fand schließlich eine andere, völlig nichtinvasive Alternative – und auf die ist Enard stolz: „Wir haben eine Methode entwickelt, mit der man aus dem Urin von Zootieren Stammzellen gewinnen kann.“ Der Affen-Harn lässt sich problemlos vom Gehege-Boden sammeln und die Zellen, die die Forschenden daraus gewinnen, lassen sich erstaunlich gut reprogrammieren. So werden sie im Reagenzglas zu neuronalen Vorläuferzellen, die sich dann zu Gehirnzellen weiterentwickeln.

Natürlich ist die Gehirngröße allein nicht der einzige Faktor, der bei der Menschwerdung eine zentrale Rolle gespielt hat. Schließlich liegt der eigentliche Knack-

punkt darin, die einzelnen Hirne miteinander zu vernetzen. Unsere Spezies hat diese Aufgabe gelöst, indem sie die Sprache hervorgebracht hat. Auch ihre Entwicklung setzt sich aus kulturellen und physischen Bausteinen zusammen. Schließlich braucht die kulturell errungene Software „Sprache“ eine biologisch passende Hardware, die sie lernen und erzeugen kann. Die körperliche Fähigkeit zu sprechen fußt auf genetischen und anatomischen Grundlagen – Sprachzentren im Hirn, die mit dem entsprechend geformten Sprechapparat so verbunden sind, dass dieser bewusst genutzt werden kann. Eine Vielzahl von Genen trägt dazu bei, dass das funktioniert.

Enard etwa hat den für das menschliche Sprechen essenziellen Transkriptionsfaktor FOXP2 untersucht. Das Gen, das für FOXP2 kodiert, besitzen fast alle Tiere – auch Mäuse, Singvögel und Schimpansen. Labormäuse mit der menschlichen Variante von FOXP2 fangen zwar nicht an zu sprechen, zeigen aber auffällige neuronale Veränderungen, die mit dem Belohnungssystem zusammenhängen. Wieder kann verglichen werden: Welche Mutationen besitzt der sprechende Mensch, der nicht-sprechende Menschenaffe aber nicht? Und haben Singvögel für ihren komplexen Gesang dieselben oder andere Lösungen gefunden?

### Biologisches Erbe des Menschen: Nicht immer up to date

Die Biologie ist mittlerweile also recht gut darin, die Spuren der Evolution zu verfolgen und zu untersuchen, wie bestimmte Merkmale sich entwickeln. Das Warum ist eine andere Frage. Sie kann in der Regel nur rückblickend beantwortet werden, indem Forscherinnen und Forscher





Die Darstellung „vom Affen, der sich allmählich zum modernen Menschen aufrichtet – der kontinuierliche Aufstieg des Menschen –, ist eines der ikonischen und gleichzeitig verwirrendsten Bilder der Wissenschaftsgeschichte“, sagt Wolfgang Enard. Diesen „March of Progress“ hat es nie gegeben. Doch ausgestellt war er lange, wie hier im Peabody Museum der Universität Yale in den 1930er-Jahren. Foto: Courtesy of YPM

plausible Hypothesen über Selektions- und Umweltbedingungen der Vergangenheit aufstellen.

Inzwischen schafft sich der Mensch im Zuge der kulturellen Evolution selbst immer neue Umweltbedingungen – und zwar in einem Tempo, bei dem die genetische Anpassung nicht mehr hinterherkommt. Da ist es nicht verwunderlich, wenn manche Gen-Relikte, die früher einmal von Vorteil waren, nicht mehr zu dem modernen Lebensstil passen. In solchen

Fällen spricht der Evolutionsanthropologe Enard von sogenannten Mismatches. „Ein einfaches Beispiel ist unser genetisch programmierter Heißhunger auf Zucker“, so der LMU-Forscher. „Über Millionen Jahre der Evolution waren leicht verfügbare Energiequellen für unsere jagenden und sammelnden Vorfahren selten und äußerst wertvoll. Heute bewegen wir uns viel weniger und Zucker ist auf einmal im Überfluss verfügbar – unser genetisches Make-up passt nicht mehr zu den Umständen.“ Unsere Körper passen also

nicht zu der Welt, in der wir leben. Aber wir können nicht zurück. Wir müssen lernen, mit den Gegebenheiten umzugehen, die wir uns selbst geschaffen haben.

**Prof. Dr. Wolfgang Enard**  
ist Inhaber des Lehrstuhls für Anthropologie und Humangenomik. Vor seiner Zeit an der LMU promovierte er am Max-Planck-Institut für Evolutionäre Anthropologie unter dem späteren Nobelpreisträger Svante Pääbo und leitete dort im Anschluss eine Forschungsgruppe.

# Schweres Erbe

Noch Generationen später kann sich das Leid traumatisierter Menschen bemerkbar machen – doch es gibt Wege, den Teufelskreis zu durchbrechen.

Von Stefanie Reinberger

„Das Vergangene ist nicht tot; es ist nicht einmal vergangen. Wir trennen es von uns ab und stellen uns fremd“, schrieb die Autorin Christa Wolf (1926-2011) in ihrem 1976 erschienenen autobiographisch gefärbten Werk *Kindheitsmuster*. Was sie beschreibt, ist die massive Verletzung der Psyche durch furchtbare, überwältigende Ereignisse im Krieg und auf der Flucht – und wie diese einen Menschen ein Leben begleiten und beeinflussen und noch die nächsten Generationen beeinträchtigen können. Etwas Schweres lastet auf der Familie und drückt noch auf Kinder und Kindeskiner. Und das, obwohl die jüngeren Generationen eigentlich gar nichts wissen können von dem Schrecklichen, das ihren Eltern oder Großeltern widerfahren ist, weil über die Ereignisse nicht gesprochen wird. Oder vielmehr: Sie leiden gerade deshalb.

Aus heutiger Sicht ist es recht deutlich, was die Autorin beschreibt: das Phänomen des transgenerationalen Traumas. Gemeint ist die Weitergabe einer nicht verarbeiteten traumatischen Erfahrung an nachfolgende Generationen. Wie es dazu kommt und wie sich diese Weitergabe unterbrechen lässt, untersuchen Forschende der LMU.

Betroffene mit transgenerationalen Trauma können unter einer unerklärlichen Taurigkeit bis hin zu Depressionen, unter diffusen Ängsten, Panikattacken und Schlaflosigkeit oder körperlichen Symptomen leiden. Sie quälen sich mit

grundlosen Schuldgefühlen, Scham, Unsicherheit oder einem permanenten Gefühl von Verlorenheit. Kurz: Sie haben Symptome einer Traumafolgestörung – ohne selbst das eigentliche traumatisierende Ereignis durchlebt zu haben. Sie haben das Trauma quasi „geerbt“.

## Wenn Betroffene über das Geschehene nicht mehr reden können


Wer verstehen will, wie es dazu kommt, muss sich zunächst vor Augen führen, wie eine Traumatisierung überhaupt entsteht und was sie für die Betroffenen bedeuten kann. Ein Experte für diese Frage ist Professor Thomas Ehring. Er ist Lehrstuhlinhaber für Klinische Psychologie und Psychotherapie an der LMU sowie Leiter der Psychotherapeutischen Hochschulambulanz und Traumaambulanz. „Unter einem Trauma verstehen wir in der Psychologie ein extremes Ereignis, das mit Bedrohung durch Tod beziehungsweise Verletzung oder sexueller Gewalt einhergeht“, sagt Ehring. Solche Ereignisse sind etwa Krieg und damit verbundene Gräueltaten, Naturkatastrophen, schwere Unfälle, Amokläufe, Missbrauch, aber auch plötzlicher Kindstod oder das Auffinden eines Angehörigen nach Suizid. Oft ist dabei das eigene Leben massiv bedroht – oder man muss als Zeuge hilflos mit ansehen, wie das Leben anderer ausgelöscht wird. Und auch Helfer in Krisensituationen können diese als traumatisierend erleben.

Doch nicht alle Menschen, die eine derart belastende Situation durchleben, tragen langfristige Schäden davon. In der weltweit größten Studie zu Traumafolgestörungen gaben 60 Prozent der befragten US-Bürger an, zumindest ein traumatisierendes Ereignis erlebt zu haben. Dagegen litten aber nur acht Prozent der Männer und zwanzig Prozent der Frauen an einer posttraumatischen Belastungsstörung (PTBS). „Bei massiver Gewalt und insbesondere sexuellem Trauma sind die Betroffenen zahlen allerdings höher“, ergänzt Thomas Ehring.

Studien deuten darauf hin, dass es bestimmte genetische Risikofaktoren gibt, die sich etwa auf das Hormonsystem auswirken und anfälliger machen für anhaltenden Stress. „Ganz entscheidend sind aber auch soziale Faktoren“, sagt Ehring. „Wie geht es für die Betroffenen nach einem durchlebten Trauma weiter? Sind sie sozial gut eingebunden, ist das ein guter Schutzfaktor. Werden sie dagegen alleingelassen oder sind immer wieder neuen Stressoren ausgesetzt, steigt das Risiko für Traumafolgestörungen.“ Ein großes Problem sei auch Vermeidungsverhalten – wenn Betroffene vor lauter Angst, an das schlimme Ereignis erinnert zu werden, bestimmte Orte meiden oder über manche Themen nicht mehr sprechen können. Auch dann steigt das Risiko für langfristige Folgen.

Genau das mache das Thema für ihn so faszinierend, verrät Ehring. „Es sind viele Faktoren, auch externe wie das soziale Umfeld und die Gesellschaft, die über die





Unerklärliche Traurigkeit bis hin zu Depressionen, diffuse Ängste, Panikattacken, auch grundlose Schuldgefühle, Scham, Gefühle von Verlorenheit: Kinder können an den unbewältigten Traumata ihrer Eltern leiden. Foto (Symbolbild): Uta Poss / Presse-Bild-Poss / Picture Alliance

## »Bei manchen Kindern von Eltern mit Traumafolgestörungen beobachten wir schon sehr früh Auffälligkeiten im Verhalten. Bereits bei Einjährigen können wir sehen, dass sie unter Stress stehen.«

Corinna Reck

Reaktion auf Traumata und Traumafolgestörungen entscheiden. Daher haben wir auch viele Angriffspunkte für die Intervention.“ Das betreffe die akute Krisenintervention sowie die Begleitung nach einem traumatisierenden Ereignis, die dazu beitragen können, dass es gar nicht erst zu Folgestörungen kommt. „Aber auch für eine bereits manifestierte PTBS kennen wir gut untersuchte und effektive Therapiemethoden“, so Ehring.

Allerdings: Dazu müssen traumatisierte Menschen erst einmal erkennen, dass sie Hilfe brauchen, und diese auch suchen. „Das Problem ist, dass es eine große Dunkelziffer gibt. Und diese Menschen bekommen häufig keine Hilfe – oder erst dann, wenn sich ihre Symptomatik bereits chronifiziert hat und schwer zu behandeln ist.“

### Die Geister, die aus der Vergangenheit ins Kinderzimmer drängen

Genau hier – in den verdrängten und unbehandelten Traumata – besteht die Gefahr der Weitergabe an die nächste Generation. Professorin Corinna Reck ist Leiterin der Lehr- und Forschungseinheit Klinische Psychologie des Kindes- und Jugendalters und Beratungspsychologie an der LMU sowie der Hochschulambulanz für Babys,

Kleinkinder, Jugendliche und (werdende) Eltern. Sie untersucht, wie sich psychische Erkrankungen von Eltern auf die psychische Gesundheit der Kinder auswirken. „Verschiedene Mechanismen sind bei der Weitergabe von psychischen Erkrankungen an die nächste Generation wirksam, sowohl biologische als auch psychologische“, sagt Reck. „Gerade im Zusammenhang mit Traumafolgestörungen und PTBS gibt es zahlreiche Studien, die darauf hindeuten, dass epigenetische Veränderungen eine Rolle spielen.“ Dabei handelt es sich um chemische Modifizierungen am Erbgut, die regulieren, ob und in welchem Maße ein bestimmtes Gen abgelesen wird oder nicht. Diese Veränderungen wirken sich dann beispielsweise darauf aus, wie der Körper auf Stresshormone reagiert. „Uns interessiert die psychologische Sicht, also wie sich das Verhalten Betroffener auf die Nachkommen auswirkt, weil wir darauf gut Einfluss nehmen können“, sagt Reck. Sie ist überzeugt, dass für die transgenerationale Weitergabe von traumatischen Erfahrungen die ersten Lebensmonate besonders wichtig sind.

Grund dafür ist das Verhalten der traumatisierten Eltern, das sich auf die Entwicklung des Kindes auswirkt. Die Psychoanalytikerin Selma Fraiberg (1918–1981) sprach von „Ghosts in the Nursery“, also von Geistern, die aus der Vergangenheit ins Kinderzimmer drängen.

Das kann – im Extremfall – ein traumatisierter Vater sein, der von seinem eigenen Vater misshandelt wurde und der dieses Verhalten nun weitergibt und seine eigenen Kinder schlägt.

### Die Schwierigkeit, die eigenen Emotionen zu spüren und zu vermitteln

Oft aber wirken die Geister, mit denen sich die Eltern herumquälen, sehr viel subtiler, wenn zum Beispiel ein traumatisierter Elternteil innerlich oder tatsächlich auf Distanz geht, um das Kind zu schützen. Babys sind jedoch auf den Kontakt mit ihren Bezugspersonen angewiesen. Und sie reagieren sensibel, wenn sie diesen nicht herstellen können – etwa, weil Eltern aufgrund ihrer eigenen Belastung emotional nicht erreichbar sind.

Das zeigt sich in einem Experiment, das Forschende aus den USA bereits in den 1970er-Jahren durchgeführt haben: Babys suchen den Kontakt über das bewegte Mienenspiel von Mutter und Vater. Frieren diese ihre Gesichtszüge nun für ein paar Minuten ein, sind gesunde Säuglinge und Kleinkinder irritiert. Sie beginnen zu protestieren, bis sich der Kontakt wieder herstellen lässt – oder sie lassen ihren Blick von der unerreichbaren Person abschweifen, wenn dies nicht gelingt. Diese eingefrorene Mimik findet sich auch häufig bei Menschen mit Traumafolgestörungen; ihre Babys erfahren die verminderte Kontaktqualität dann quasi als Normalzustand.

Dazu kommt: Menschen mit Traumafolgestörungen können häufig ihre eigenen Emotionen nur schwer spüren und zum Ausdruck bringen. Aber auch die Emotionen anderer zu lesen fällt ihnen schwer und setzt sie unter Stress. Das wirkt sich





Das Trauma der Flucht: Kinder, die 2018 im Flüchtlingslager Moria auf der griechischen Insel Lesbos gestrandet sind, versuchen ihre Erlebnisse in Bilder zu fassen. Foto: Alessio Mamo / Redux / Laif

auf die Interaktion mit den eigenen Kindern aus – vom ersten Tag an, weil Eltern dann auf die kindlichen Bedürfnisse nicht angemessen eingehen können. Sie können zum Beispiel impulsiv oder sogar ablehnend und feindselig reagieren, weil sie das Schreien des Babys als Angriff gegen ihre eigene Person interpretieren. Oder weil die körperliche Nähe, die der Säugling fordert, bedrohlich wirkt auf den traumatisierten Elternteil. Es kommt immer wieder zu vorübergehenden Unterbrechungen im Kontakt. In der Folge kann die Fähigkeit, gesunde zwischenmenschliche Bindungen einzugehen, beim Baby von Anfang an beeinträchtigt sein.

„Bei manchen Kindern beobachten wir schon früh Auffälligkeiten im Verhalten“, sagt Reck. „Bereits bei Einjährigen können wir sehen, dass sie unter Stress stehen.“ Die Kinder sind hypersensibel für die

Stimmung ihrer Bezugspersonen und können dann nicht so unbelastet und spielerisch die Umgebung explorieren wie ihre Altersgenossen.

Doch wie lässt sich diese Spirale durchbrechen? Corinna Reck arbeitet mit ihrem Team in der Hochschulambulanz mit betroffenen Eltern und ihren Babys. Oft finden die jungen Familien zu ihr, weil bei der Mutter etwa eine postpartale Depression diagnostiziert wurde, also eine sogenannte Wochenbett-Depression. Oder weil sie sich total überfordert fühlen. „Meist funktioniert ein beeinträchtigtes Bindungsverhalten, wie es bei Menschen mit Traumafolgestörungen vorkommen kann, in der Paarbeziehung noch“, sagt Reck. Das liege häufig daran, dass sich Paare mit ähnlichem – oft vermeidendem – Bindungsstil finden. „Aber sobald ein Baby mit dem natürlichen Be-

dürfnis nach großer Nähe dazukommt, gerät das System ins Wanken.“

Um die Eltern-Kind-Beziehung zu fördern, nutzt Reck einen integrativen Ansatz mit körpertherapeutischen Elementen. Dieser geht auf den US-amerikanischen Psychologen George Downing zurück. Diese Herangehensweise stützt sich darauf, dass Erfahrungen nicht nur als Worte oder innere Bilder im Gehirn, sondern auch durch Körpererinnerungen gespeichert werden. Bezieht die therapeutische Arbeit die Körperebene mit ein, lässt sich ein besserer Zugang zu den Problemen, aber auch zu den Ressourcen der Betroffenen finden.

Konkret lässt Reck beispielsweise eine Mutter, die körperlichen Kontakt als bedrohlich empfindet, ihr Kind auf den Arm nehmen. Wie fühlt sich das an? Die Mut-

## »Ganz entscheidend sind soziale Faktoren. Wie geht es für die Betroffenen nach einem durchlebten Trauma weiter? Sind sie sozial gut eingebunden, ist das ein guter Schutzfaktor.«

Thomas Ehring

ter soll sich dann auch – zunächst ohne das Kind – in eine Situation hineinversetzen, in der sie sich wohl und entspannt fühlt. Auch hier gilt es nun, genau zu spüren, wo und wie sich diese Sicherheit im Körper bemerkbar macht. Sie versucht, dieses Gefühl im Körper zu imaginieren, und nimmt ihr Kind wieder auf den Arm. Dieses Vorgehen, so zeigt sich in Recks Arbeit, trägt dazu bei, dass die Mutter ihre eigene Anspannung besser wahrnehmen und regulieren kann, was ihr wiederum eine feinfühligere Interaktion mit dem Baby erlaubt.

Der beste Schutz für die nächste Generation wäre jedoch, es gar nicht erst so weit kommen zu lassen. Besonders unverarbeitete Traumata können sich in Traumafolgestörungen manifestieren und ungefiltert an die nächste Generation weitergegeben werden. Der beste Schutz für die Nachkommen ist also, das Schweigen zu brechen und ein bestehendes Trauma zu behandeln. „Dabei kommen wir in der Therapie nicht um die Konfrontation mit der Erinnerung an das Trauma herum, auch wenn das unangenehm und anstrengend ist für die Betroffenen“, sagt Thomas Ehring. Der Grund: Eine Traumafolgestörung entsteht dann, wenn das Gehirn nicht in der Lage ist, das Erlebte zu verarbeiten. Um es zu integrieren, muss die Geschichte in der Erinnerung nochmals durchlebt werden und in den neuen Kontext – ich bin jetzt in Sicherheit – eingeordnet werden.

Ehring betreibt mit seinem Team Therapieforschung – um die zur Verfügung ste-

henden Methoden noch zu verbessern. Er interessiert sich unter anderem dafür, wie „Rescripting“, also ein bewusstes Umschreiben des Erlebten, bei der Verarbeitung unterstützen kann. „Dabei werden die Erinnerungen in der Vorstellung wieder hervorgeholt. Statt diese – wie in der konfrontativen Therapie – aber einfach zu wiederholen, wird das Drehbuch geändert und die Betroffenen erleben in der Imagination, dass jemand zu Hilfe kommt, den Täter entmachtet und das Kind schützt und versorgt“, so Ehring. In seinen Studien hat sich gezeigt, dass dieses Vorgehen hilfreich sein kann, um die gefühlte Selbstwirksamkeit der Betroffenen zu stärken, aber auch Scham abzubauen. „Was wir allerdings noch nicht wissen, ist, ob und inwiefern das Rescripting die

Erinnerung an die Fakten dessen, was passiert ist, beeinträchtigen kann.“ Das wäre dann wiederum ungünstig, wenn eine Gewalttat vor Gericht verhandelt werden soll. Ehring geht dieser Frage aktuell zusammen mit seinem Team nach.

Doch egal, ob vor Gericht, um ein Stück Gerechtigkeit herzustellen, oder für den eigenen Verarbeitungsprozess: Die Konfrontation mit dem Trauma ist unabdingbar, um es aufzulösen. Christa Wolf beschreibt das in ihrem Buch so: Sie lässt die Protagonistin an den Ort ihrer Kindheit zurückreisen. Hier werden Erinnerungen geweckt und so das Schweigen gebrochen – das selbst auferlegte und das von der Gesellschaft erwartete. Und genau damit vollzieht sie einen entscheidenden Schritt zur Heilung.



**Prof. Dr. Corinna Reck**

leitet die Lehr- und Forschungseinheit für Klinische Psychologie des Kindes- und Jugendalters & Beratungspsychologie sowie die Psychotherapeutische Hochschulambulanz für Babys, Kinder, Jugendliche und (werdende) Eltern an der LMU. Nach Promotion und Habilitation an der Ruprecht-Karls-Universität Heidelberg arbeitete sie am Klinikum der Universität Heidelberg, zuletzt als Leitende Psychologin.



**Prof. Dr. Thomas Ehring**

ist Inhaber des Lehrstuhls für Klinische Psychologie und Psychotherapie an der LMU und Leiter der Psychotherapeutischen Hochschulambulanz und Traumaambulanz. Nach dem Ph.D. am King's College London und Stationen an der Universität Bielefeld und der Universität van Amsterdam war Ehring Professor für Klinische Psychologie an der Universität Münster, bevor er 2015 an die LMU kam.

# Was wir Kindern mitgeben

Die LMU-Entwicklungspsychologin Jeanine Grütter untersucht, wie Eltern und Umwelt junge Menschen dabei unterstützen können, stabil in der Welt zu stehen.

Von Stefanie Reinberger

Selbstvertrauen, Beziehungsfähigkeit, Durchhaltevermögen, einen Sinn für Gerechtigkeit und den Mut, für sich und andere einzustehen – welche Werte wollen wir unserem Kind für seinen Weg durchs Leben mitgeben? Und wie gelingt das? Wie können wir seine soziale und moralische Entwicklung unterstützen?

Professorin Jeanine Grütter hat zwei Nachrichten für Eltern. Erstens: Sie sind und bleiben wichtige Bezugspersonen für ihre Kinder in Bezug auf deren emotionale, moralische und soziale Entwicklung. Spätestens mit Eintritt in die Schule werden aber auch die Peers, also die Gleichaltrigen in der Klassengemeinschaft oder im Sportverein, Freunde und Cliquen, für das Sozialverhalten der Kinder zunehmend bedeutsam.

## Das Fundament für die moralische Entwicklung legen

Die Zugehörigkeit zur Gruppe gewinnt dann vermehrt an Bedeutung für den Selbstwert und die Identifikation. „Häufig schließen sich Kinder sogar dem Verhalten ihrer Peers an, wenn dieses gar nicht ihrer eigenen moralischen Überzeugung entspricht“, sagt Grütter. Sie verhalten sich dann beispielsweise entgegen der eigenen Überzeugung unfair, um sich an die Gruppe anzupassen und nicht herauszufallen. Die zweite Nachricht: „Ist es gelungen, eine vertrauens-

volle Beziehung aufzubauen, besteht eine gute Chance, dass sich die Kinder und Jugendlichen in komplexen Situationen an ihre Eltern oder auch an Lehrpersonen wenden – um Rat einzuholen oder um die Situation im Nachgang zu besprechen“, meint die Entwicklungspsychologin.

Jeanine Grütter ist seit 2024 Professorin an der Fakultät für Psychologie und Pädagogik, Entwicklungspsychologie und Pädagogische Psychologie der LMU. Sie interessiert sich dafür, wie sich soziale Kognitionen, moralische Kognitionen und moralische Emotionen wie Empathie und Mitgefühl entwickeln – von der Kindheit bis ins junge Erwachsenenalter. „Ich finde das Thema faszinierend, weil es mitten aus dem Leben kommt“, sagt sie. „Wenn wir auf das Weltgeschehen schauen, da passieren wunderschöne und schlimme Dinge zugleich, und viele sind durch Menschen ausgelöst.“ Das beeinflusst jeden einzelnen von uns. Denn wir müssen uns vor dem Hintergrund des aktuellen Geschehens immer wieder die Frage stellen, was fair ist und wie wir uns selbst in dieser Welt positionieren wollen. Und das beeinflusst letztlich unser Verhalten – egal wie alt wir sind. „Wie das funktioniert und welche Einflüsse wichtig sind, untersuche ich mit meinem Team auf der ganzen Welt“, sagt Grütter.

Sozialverhalten und Moral sind also nicht zementiert, wie die Forschung zeigt. Vielmehr entwickeln sie sich ein Leben lang – abhängig von unserer Umgebung, unseren Partnern, Freunden und Mentoren ebenso wie von unseren Erfahrungen. Eltern können diese Entwicklung über lange Abschnitte des Lebens beeinflussen. Sie sorgen im

Idealfall für eine gute Basis, für Grundkompetenzen – gerade in den ersten Jahren.

„Ich spreche in diesem Zusammenhang gerne von einem Fundament, das in der frühen Kindheit gelegt wird“, sagt Grütter. „Das Fundament bleibt bestehen, während das darauf errichtete Gebäude immer wieder umgebaut wird.“ Und genau wie bei einem architektonischen Bauwerk entscheidet das Fundament letztlich, wie stabil das darüberliegende Gefüge ist, wie viele und welche Umbaumaßnahmen es verkraftet und ob es auch mal einem Sturm standhalten kann. „Das heißt nicht, dass die Entwicklung mit einem weniger guten Fundament zwingend negativ verläuft – aber es ist sehr viel schwerer.“

## Der Einfluss der Eltern ist auch kulturell bedingt

Für ein gutes Fundament ist insbesondere entscheidend, welche Signale Erziehende aussenden. Das beginnt schon im Säuglingsalter, wenn die Grundlage für das Bindungsverhalten gelegt wird. Werden die Bedürfnisse des Babys erfüllt, sodass es das Gefühl entwickelt, dass es sich auf sein Umfeld verlassen kann? Später, im Kleinkindalter, ist eine gute Balance zwischen Autonomie und liebevoller Förderung wichtig, ebenso wie das Erleben und Verbalisieren von Emotionen. Wird ein Kind mit seiner überwältigenden Gefühlswelt wirklich angenommen oder muss es seine Emotionen unterdrücken? „Da wird viel mitgegeben, auch für die





»Letztlich profitieren alle davon, wenn eine gute Interaktion zwischen Kindern mit unterschiedlichen Lernvoraussetzungen und Hintergründen stattfindet.«



Wie entwickeln sich soziale und moralische Kognitionen, moralische Emotionen wie Empathie und Mitgefühl – von der Kindheit bis ins junge Erwachsenenalter? „Ich finde das Thema faszinierend, weil es mitten aus dem Leben kommt“, sagt Jeanine Grütter. Foto: Florian Generotzky



## »Wenn Eltern sehr stark an das Kind glauben und eine Vorstellung von dem haben, was das Kind erreichen kann und soll, dann trauen sich auch die Kinder mehr zu und sind bereit, sich für ein Ziel einzusetzen.«

Empathiefähigkeit“, sagt die Entwicklungspsychologin.

Aber auch später in der Kindheit und Jugend gibt es immer wieder sensible Zeiträume, in denen Eltern ihren Kindern etwas mitgeben können. In ihrer Zeit an der Universität Zürich hat Grütter in einem Projekt mitgearbeitet, das Kinder ab sechs Jahren und ihre Familien über viele Jahre begleitet und alle drei Jahre befragt hat. Dabei zeigte sich: Der Einfluss der Eltern wird insbesondere bei schulischen Übergängen wieder relevant. Steht etwa der Wechsel zu einer anderen Schulform an, werden die Signale der Eltern entscheidender. „Wenn Eltern sehr stark an das Kind glauben und eine Vorstellung von dem haben, was das Kind erreichen kann und soll, dann trauen sich auch die Kinder mehr zu und sind bereit, sich für ein Ziel einzusetzen“, sagt Grütter. Das wirke sich letztlich positiv auf die Leistung aus, also darauf, ob es das angestrebte akademische Ziel erreichen kann oder nicht.

Wie Eltern die soziale Entwicklung ihrer Kinder mitgestalten können, hängt auch von der Kultur ab, in der sie leben. Das hat eine Studie verdeutlicht, die Grütter in Nepal durchgeführt hat – in einer Gesellschaft, die stark von Tradition sowie von einer deutlichen Zersplitterung in Kasten und Unterkasten, verschiedene soziale Schichten, aber auch in unterschiedliche Religionen geprägt ist.

Untersucht hat die Entwicklungspsychologin hier die Präferenzen in Bezug auf

Freundschaften und romantische Beziehungen mit Personen aus niedrigerem oder höherem sozialen Status. Grütter fand heraus, dass die meisten Jugendlichen annahmen, dass Beziehungen zwischen Jugendlichen aus verschiedenen Schichten weniger wahrscheinlich sind als Beziehungen innerhalb der gleichen Schicht. Zudem erwarteten sie, dass Eltern aus niedrigeren sozialen Schichten eher eine Interaktion mit höheren sozialen Schichten befürworten als umgekehrt. Solche Erwartungen könnten ein Hindernis für gemischte Beziehungen darstellen. Die gute Nachricht ist jedoch: Einige Jugendliche waren nicht bereit, sich dieser Erwartung zu fügen, weil sie es für ungerecht befanden, dass Jugendliche aus niedrigen sozialen Schichten dadurch weniger Chancen bekommen, und weil sie sich nicht in ihrer Autonomie einschränken lassen wollten.

### Wichtig für einen guten Zusammenhalt: Miteinander reden

Wie stark die Annahme über das Denken und die Meinung der Anderen das Handeln von Kindern und Jugendlichen beeinflusst, zeigt sich auch in einer Studie, die Grütter mit ihrem Team in Schweizer Grundschulen mit integrativem Setting durchgeführt hat. Auch hier war die Annahme der Kinder, was die Mitschülerinnen und Mitschüler denken, ausschlaggebend dafür, ob sie bereit waren, ein

Kind mit Lernschwierigkeiten anzunehmen oder nicht. Interessanterweise gingen die meisten davon aus, dass sie selbst eher bereit wären, dieses Kind zu integrieren, als ihre Peers.

„Hier sehen wir eine ganz wichtige Aufgabe, ein Programm zu entwickeln, damit Lehrpersonen Schulkinder anleiten können, in ihren Klassen solche Fragen offen zu diskutieren“, sagt Grütter. Ein wichtiges Ziel ist, dass innerhalb der Gruppe darüber gesprochen wird – über Gefühle, Annahmen, aber auch über Wünsche und Bedenken bezüglich der Gruppensituation. So lernen Kinder letztlich, soziale Verantwortung zu übernehmen – auch außerhalb dessen, was sie von zu Hause mitbekommen haben. „Und letztlich, wie unsere Studien ebenfalls zeigen, profitieren alle davon, wenn eine gute Interaktion zwischen Kindern mit unterschiedlichen Lernvoraussetzungen und Hintergründen stattfindet.“ Damit können Schulen letztlich das erweitern, was Eltern ihren Kindern mitgeben, und durch klare Signale und gute Kommunikation die moralische und sozial-emotionale Entwicklung von Kindern und Jugendlichen unterstützen.

#### Prof. Dr. Jeanine Grütter

erforscht die soziale, moralische und emotionale Entwicklung von der Kindheit bis ins frühe Erwachsenenalter. Sie studierte und promovierte an der Universität Zürich und arbeitete als Postdoktorandin unter anderem in Nepal, den USA und der Schweiz. Bevor sie 2024 an die LMU wechselte, war sie drei Jahre lang Professorin an der Universität Konstanz.





Sport, Freunde, Cliques sind bedeutend für das Sozialleben von Jugendlichen, betont Jeanine Grütter. Das Wohn- und Kulturzentrum *Bellevue di Monaco* an der Müllerstraße, das Geflüchteten eine Anlaufstelle und Wohnraum bietet, hat eine Begegnungsstätte der besonderen Art für Jugendliche gebaut: einen Bolzplatz hoch über den Dächern der Münchner Innenstadt. Foto: Florian Generotzky

# Betörend, verstörend

Wie auf die heutige Zeit geschrieben: Der Theaterklassiker Shakespeare überschreitet die Grenzen des Möglichen und Vorstellbaren und ist damit aktueller denn je, erklärt die LMU-Anglistin Claudia Olk.

Von Maximilian Burkhart

Sein oder Nichtsein? Mit theatraler Wucht bringt Wolodymyr Selenskyj, ukrainischer Präsident – und geübter Schauspieler – im englischen Unterhaus am 8. März 2022 die wahrhaft existenzielle Krise seiner Heimat nach dem verbrecherischen Überfall Russlands vor Augen – in einer Metaphorik, die wirklich jeder versteht, weil das Zitat längst universelles Kulturgut ist: „Die Frage ist für uns nun: Sein oder Nichtsein? Oh nein, diese Shakespeare-Frage. Diese Frage konnte während der ersten dreizehn Tage des Kriegs gestellt werden, aber nun kann ich Ihnen die Antwort geben. Es ist definitiv ja, Sein.“

Im Zusammenhang mit Tod und Vernichtung am Rand Europas hat die berühmte und zugegebenermaßen oft bemühte Hamlet-Frage noch einmal eine ganz andere, dringlichere Dimension, sie hallt in einem weit größeren Resonanzraum nach. Die Episode zeigt gleichzeitig allerdings auch die überzeitliche Anschlussfähigkeit Shakespearescher Dramatik. Geht es um die ganz großen Themen, um Krieg und Frieden, um Leben und Tod, um Liebe und Leidenschaft, Freundschaft und Verrat, dann gibt es eben den einen Gewährsmann: William Shakespeare. Die Faszination für seine Stücke ist ungebrochen. Mehr noch, in Zeiten wie diesen, in „Zeiten verstörender Umbrüche, wie sie die gegenwärtige weltpolitische und gesellschaftliche Situation kennzeichnen“, erscheinen Shakespeares Werke „einmal

mehr äußerst zeitgemäß“, sagt LMU-Professorin Claudia Olk. Der Grund dafür liegt, so die Lehrstuhlinhaberin für Anglistik, auch in der Komplexität der Stücke: „Shakespeares Œuvre ist herausfordernd und verstörend. Wer einfache Antworten sucht, wird sie bei Shakespeare nicht finden.“

An US-amerikanischen Universitäten führt dies dazu, dass „Triggerwarnungen“ wegen Gewaltdarstellungen, Rassismus, Klassismus oder Sexismus zu Shakespeares Werken ausgesprochen und sie teilweise nicht mehr behandelt werden, bedauert Claudia Olk. Die Direktorin der international renommierten Shakespeare-Forschungsbibliothek hat an ihrem Institut ganz andere Erfahrungen gemacht: „Die Studierenden wollen sich mit Shakespeare auseinandersetzen“, so sagt sie, „weil nicht nur der historische Moment, in dem seine Werke entstanden sind, fasziniert, sondern gerade auch, weil sich seine Stücke ungebrochen lebendig zu einer jeweiligen Gegenwart in Beziehung setzen.“

**Verfilmt und adaptiert für Kino, TV und Netzserien, auch Vorlage für Romane**

Trotzdem – oder gerade deshalb – ist Shakespeare immer noch einer der meistgespielten Theaterautoren unserer Zeit, allein die großen Münchner Bühnen zum Beispiel spielen in der laufenden Saison

ein halbes Dutzend seiner Stücke. Shakespeares Stoffe und Motive werden verfilmt und adaptiert für Kino, TV und Netzserien wie zum Beispiel *House of Cards*. Oder sie dienen als Vorlagen für Romane, etwa von Margaret Atwood oder Jeanette Winterson. Sie wurden, sagt Claudia Olk, „in viele Sprachen übersetzt und erweitern sich gleichfalls als übersetzbar in viele politische und kulturelle Kontexte – von Reykjavik bis Kapstadt, von Hollywood bis Bollywood“.

Shakespeares komplexe Helden und Schurken bieten Erklärungsmodelle auch für die Gegenwart, wie der US-amerikanische Kulturhistoriker Stephen Greenblatt in seinem furiosen Shakespeare-Essay *The Tyrant (Der Tyrann)* gezeigt hat, mit dem er die Wahl von Donald Trump zum US-Präsidenten 2016 kommentiert. Natürlich sind „charmanten Erzschorke wie Richard III. nicht trotz ihrer Böartigkeit, sondern gerade wegen ihr so anziehend“, betont Claudia Olk. Shakespeares Theater „lässt uns zweifeln an triumphaler Selbstglorifizierung und perfidem Pathos“. Aber das allein kann die ungebrochene Faszination für Shakespeare nicht erklären.

Einen Schlüssel zum Verständnis liefert Shakespeares Spätwerk *The Tempest (Der Sturm)*, in dem die Zuschauer unweigerlich, wie auch im *Sommernachtstraum*, ihre eigene Position hinterfragen müssen. Ständig schläft irgendwer irgendwo und schnell ist nicht mehr klar, was wahr ist und was geträumt, was Theater und was



Shakespeares Theater „lässt uns zweifeln an triumphaler Selbstglorifizierung und perfidem Pathos“, sagt Claudia Olk. Lars Eidinge als „Erzschurke“ Richard III. in einer Inszenierung an der Schaubühne Berlin, Proben 2015.  
Foto: Hermann Bredehorst / Polaris / Laif







„Wer einfache Antworten sucht, wird sie bei Shakespeare nicht finden“, sagt die Anglistin Claudia Olk und wirbt dafür, sich mit der Komplexität der Stücke auseinanderzusetzen. Aufnahme im Münchner Residenztheater. Foto: Manu Theobald

Wirklichkeit. In den permanenten Grenzüberschreitungen wird der Sinn selbst fluide wie das Wasser und der Wind, die in Shakespeares Dramen eine so zentrale Rolle spielen – so auch in *Der Kaufmann von Venedig*. Hier diffundieren, in Gestalt des Advokaten Balthasar – in dem in Wahrheit die verkleidete Portia steckt –, nicht nur die Geschlechterrollen. In seiner/ihrer rabulistischen Rhetorik verflüssigen sich auch der Sinn des Vertrages zwischen dem Juden Shylock und seinem Schuldner Antonio und sogar die Gesetze von Venedig.

„We would not die in that man's company / That fears his fellowship to die with us.“ („Wir wollen nicht in des Gesellschaft sterben, / Der die Gemeinschaft scheut mit unserm Tod.“), ruft Henry V. in der voll nationalen Pathos triefenden sogenannten St.-Crispin-Rede seinem hoffnungslos unterlegenen Heer zu. Dann geschieht das für unmöglich Gehaltene. Er besiegt mit seinen Männern die Franzosen und legitimiert mit dieser Heldentat inmitten des Hundertjährigen Krieges den Anspruch der Tudors auf den englischen Thron.

### Antisemitismus? Rassismus? Nationalismus? Die Vorwürfe greifen zu kurz

Die sich an Henry V. entzündende Debatte, ob Shakespeare ein Nationalist gewesen sei, greift ebenso zu kurz wie die am Kaufmann von Venedig, an Othello und an Der Sturm festgemachten Vorwürfe des Antisemitismus und Rassismus. Die Darstellung von Antisemitismus (*Der Kaufmann von Venedig*), Rassismus (*Othello*), die Figur des Caliban aus *Der Sturm* oder Nationalismus (die St.-Crispin-Rede aus Henry V.) darf nicht, so sagt Claudia Olk, mit Zustimmung verwechselt werden. Shakespeare zeigt vielmehr, wie es

beispielsweise dazu kommen kann, dass Rassismus entsteht, wie Ausgrenzung und Feindseligkeit funktionieren, indem er sie von allen Seiten beleuchtet und einen Reigen an Deutungsmöglichkeiten eröffnet.

Darin liegt der wahre Grund für Shakespeares Aktualität, sagt Claudia Olk: „Die weltweite Shakespeare-Rezeption, man könnte fast sagen, die Shakespeare-Industrie verdankt sich bis heute diesem Überschuss, einer schier unerschöpflichen Unendlichkeit an Möglichkeiten der Interpretation und Darstellung.“

Das Überbordende in Shakespeares Werk, ob es sich nun in einem „Übermaß an exotischem Luxus in *Antony and Cleopatra*“ manifestiert oder in dem „beunruhigend ausagierten Verständnis der Geschlechterrollen in *The Taming of the Shrew* (*Der Widerspenstigen Zähmung*) oder auch in den Gewaltexzessen in *Titus Andronicus*“, ist Beispiel dafür, so sagt die Shakespeare-Expertin, „wie Shakespeare in der Wahl seiner Quellen eine besondere Vorliebe für Stoffe gehegt hat, die sich an der Grenze des Vorstellbaren bewegen.“

Selbst *Romeo und Julia*, dieser Inbegriff einer modernen Tragödie, lebt das Exzessive, wie Julia selbst zugibt: „My true love is grown to such excess / I cannot sum up sum of half my wealth“ („Meine Zärtlichkeit ist zu einem solchen Uebermaß gestiegen, daß ich nicht die Hälfte meines Reichthums anzugeben vermag.“) Die poetische Kraft und ihr aufklärerisches Potenzial liegen auch in eben diesem Exzesshaften, sagt Claudia Olk: „Exzesse sind dem Theater immanent. Sie bedingen die Reflexion eigener Möglichkeiten und initiieren eine Logik der Selbstüberschreitung.“ Sie verweisen auf „ihre Möglichkeitsbedingungen“ und stellen gerade „die in der Begrenztheit der Mittel wie der

Worte liegende poetische Kraft der Kreation und imaginativen Transgression“ aus. „Shakespeares Figuren konfigurieren in ihrem Ausgreifen in den Exzess kontinuierlich performative Grenzüberschreitungen.“

Doch eben dieses Exzesshafte machte Shakespeares Werke für ein breites Publikum manchmal schwer verdaulich; gerade in Deutschland, wo Shakespeare ironischerweise schon im 18./19. Jahrhundert zum „dritten deutschen Klassiker, neben Goethe und Schiller“ avancierte. Schon während der Hamburger Premiere des *Othello* seien die Zuschauer bei den „Grauszenen“ reihenweise in Ohnmacht gefallen, resümiert der zeitgenössische Beobachter J.F. Schütze in seiner *Hamburgische Theater-Geschichte* von 1794, und manch „frühzeitige missglückte Niederkunft dieser und jener namhaften Hamburgerin“ sei die Folge gewesen. „Gleichwohl“, sagt LMU-Anglistin Olk, „schien es auch, dass Shakespeares Stücke ihre Regisseure, Schauspieler, Kritiker und Zuschauer nicht trotz ihrer exzessiven Qualitäten begeisterten, sondern gerade wegen dieser. Sie verbreiteten Schrecken und Faszination zugleich.“

In der Originalversion galten trotzdem viele Shakespeare-Dramen als dem Bürgertum unzumutbar oder gleich unspielbar. Die Folge ist eine intensive Nach- und Umdichtung, wie das Claudia Olk an vielen Bühnenbearbeitungen zeigen kann, die in der Shakespeare-Forschungsbibliothek lagern, im Übrigen „der einzigen auf dem europäischen Kontinent, einem Labor der Geisteswissenschaften“, wie die Anglistin anmerkt. „Paradox“ sei, dass der in Deutschland wie England so geliebte Shakespeare so wenig in der originalen Form toleriert wurde: „Bei aller hymnischen Bewunderung für Shakespeare konnte man seine Stücke im Theater des 18. und 19. Jahrhunderts oft nicht ohne

## »In Zeiten verstörender Umbrüche, wie sie die gegenwärtige weltpolitische und gesellschaftliche Situation kennzeichnen, erscheinen Shakespeares Werke einmal mehr äußerst zeitgemäß.«

extensive Änderungen ertragen“, sagt Claudia Olk.

Ein prägnantes Beispiel bietet die *Hamlet*-Inszenierung am Wiener Hoftheater im Jahr 1773. Sie ist ein voller Erfolg, trotz, oder wegen, der Eingriffe des Regisseurs Franz Heufeld. Er verpasst den Protagonisten dänisch anmutende Namen, Polonius heißt jetzt Oldenholm und aus Horatio wird Gustav. Wichtige Nebenfiguren wie Fortinbras, Laertes, Rosencrantz, Osric und der Totengräber werden von ihm ebenso gestrichen wie der norwegische Handlungsstrang.

### Für die deutsche Bühne gleichsam entkernt – ein *Hamlet* ohne Hamlet

Das Stück endet schließlich nicht mehr in einem Blutbad, denn Hamlet darf in seiner Fassung, anders als seine Gegner, überleben. Heufeld nimmt damit dem Stück die politische, die komisch-selbstreflexive und die tragische Dimension – ein *Hamlet* ohne Hamlet quasi. Shakespeares Werke waren, sagt Claudia Olk, „für die deutsche Kritik und das deutsche Theater des 18. Jahrhunderts zu viel, zu beunruhigend, zu kompliziert, zu verwirrend und bedrohlich, wenn nicht gar zu schockierend, blutrünstig und grausam: Kurzum: unbrauchbar.“

Gleichsam entkernt – das galt auch für Shakespeares *King Lear* (*König Lear*): In

der deutschsprachigen Premiere wurde das „Irrationale, Ambivalente und Absurde der Szene zugunsten einer auf ihre affektive Wirkung bedachten Inszenierung getilgt.“ Übrig blieben, sagt Olk, eine „Handlung ohne moralisch möglicherweise anstößige Elemente und eine Vereinfachung des Stils, der zum Beispiel in den Narrenreden seiner erotischen Anspielungen entledigt wurde.“ Ein *Hamlet* ohne Hamlet also und ein *Lear* ohne Lear für das deutsche Bürgertum?

In Ohnmacht immerhin fallen Theaterbesucher bei Shakespeare heute nicht mehr. Dafür braucht es schon schockierendere Stoffe wie etwa Florentina Holzingers Bearbeitung der Hindemith-Oper *Sancta*, bei deren Premiere in Stuttgart zu Beginn dieser Theatersaison laut Medienberichten „trotz einer Altersfreigabe ab 18 Jahren und fett gedruckten Warnhinweisen“ 18 Zuschauerinnen und Zuschauer kollabierten.

Trotzdem: Verstören kann Shakespeare auch heute, wofür *König Lear*, der gleichwohl stets für volle Häuser sorgt, ein gutes Beispiel ist. Gerade im Irrationalen, Ambivalenten und Absurden liegt der eigentliche Kern des Stücks – und genau das macht es auch so schwer erträglich. Der *Lear*, so sagt Anglistin Claudia Olk, „verweigert sich einer aufklärerischen Lösung. Am Ende sieht sich das Publikum in vollendeter Sinnlosigkeit gleichsam dem Nichts ausgeliefert.“ Wer einfache Antworten sucht, wird sie bei Shakespeare nicht finden. „Das Stück ist zu Ende, aber

nichts ist gut“, heißt es am Schluss von *King Lear*.


Schwer verdaulich mag Shakespeare zuweilen sein, doch gar so unversöhnlich und düster ist er nun auch nicht. Darauf legt Claudia Olk großen Wert. Denn neben seinen Tragödien beherrschen zum Glück auch seine Komödien wie *A Midsummer Night's Dream* (*Ein Sommernachtstraum*), in denen Grenzüberschreitungen positiv gewendet erscheinen, bis heute die Theaterwelt. Und so gebührt am Ende dem Narren Puck der Vorhang: „Now to scape the serpent's tongue, / We will make amends ere long; / Else the Puck a liar call; / So, good night unto you all. / Give me your hands, if we be friends, / And Robin shall restore amends.“ („Wenn wir bösem Schlangenzischen / Unverdienterweis entwischen, / So verheißt auf Ehre Droll / Bald euch unsres Dankes Zoll; / Ist ein Schelm zu heißen willig, / Wenn dies nicht geschieht, wie billig. / Nun gute Nacht! Das Spiel zu enden, / Begrüßt uns mit gewognen Händen!“)

#### Prof. Dr. Claudia Olk

ist Inhaberin des Lehrstuhls für Englische Literaturwissenschaft und Direktorin der Shakespeare-Bibliothek der LMU.

Claudia Olk wurde an der Universität Münster in Englischer Philologie promoviert und habilitierte sich an der Humboldt-Universität zu Berlin. Danach war sie Professorin für Allgemeine und Vergleichende Literaturwissenschaft mit Schwerpunkt Anglistik am Peter Szondi-Institut der FU Berlin; 2019 kam sie an die LMU. Claudia Olk war zudem neun Jahre Präsidentin der Deutschen Shakespeare-Gesellschaft.



A woman with dark hair, wearing a dark brown velvet blazer and dark trousers, is seated on a white modern chair. She is positioned in front of a large window that looks out onto a city street. The window has a wooden frame and a red and white striped safety barrier in the foreground. The woman is looking back over her shoulder towards the camera. The lighting is soft and natural, coming from the window.

„Zur Schönen Aussicht“ heißt  
dieser Ort im Residenztheater.  
Ganz so unversöhnlich und düster  
sei Shakespeare nun auch wieder  
nicht, vor allem nicht in seinen  
Komödien, darauf legt Claudia Olk  
großen Wert. Foto: Manu Theobald

# Gefährliche Gene

Brustkrebs ist in Deutschland mit 70.000 neuen Fällen pro Jahr die häufigste Krebserkrankung bei Frauen – und manchmal schlummert sie in den Genen. Standards bei der Behandlung und der Erforschung hat die LMU-Professorin Nadia Harbeck gesetzt. Ein Besuch

Von Nina Himmer

Nadia Harbeck ist ständig auf dem Sprung: Erst von Barcelona nach München, dann vom Flughafen in die Klinik, nun von ihrem Büro zu einer Patientin. „Ich bin gleich zurück“, versichert sie und eilt über den Flur der Frauenklinik der LMU. Erst vor ein paar Stunden ist sie vom Europäischen Krebskongress zurückgekommen, ihr schwarzer Rollkoffer steht noch in der Ecke ihres Büros, darauf lagern eine Regenjacke und eine Tüte vom Bäcker. Utensilien einer Reisenden. Auspacken lohnt kaum, „in ein paar Tagen geht es weiter zu einer Konferenz nach China“, erklärt die Professorin knapp, als sie sich eine Viertelstunde später in ihrem Bürostuhl niederlässt. Verrückter Tag? Sie lacht, die blonden Locken wippen. „Nein, eigentlich ganz normal.“ Dann steht der nächste Sprung an, diesmal nur gedanklich, zurück in die Vergangenheit. Genauer: zum 14. Mai 2013. Dem Tag, an dem die Schauspielerin Angelina Jolie einen offenen Brief in der New York Times veröffentlichte unter dem Titel: „My medical choice“ („Meine medizinische Entscheidung“).

Jolie war nie Nadia Harbecks Patientin, in ihrem Sprechzimmer aber trotzdem lange sehr präsent: In den Köpfen besorgter Frauen, die von ihrem Schicksal gelesen hatten. „Nach dem Artikel wurden wir regelrecht überrannt – das Telefon stand nicht mehr still, Beratungstermine waren Monate im Voraus ausgebucht“, erinnert

sich die Leiterin des Brustzentrums und der Onkologischen Tagesklinik am LMU Klinikum. Die Schauspielerin hatte darin ihre BRCA-Mutation und die vorsorgliche Entfernung ihrer Brüste öffentlich gemacht. Bilaterale prophylaktische Mastektomie nennen Mediziner diesen Eingriff. Und viele Frauen auf der ganzen Welt wollten danach wissen: Steckt auch in meinen Genen Krebs? Wie hoch ist mein persönliches Risiko? Wie kann ich mich schützen?

## Viele schauen sich ihre Familiengeschichte genauer an, fragen nach

Jährlich erkranken weltweit mehr als zwei Millionen Menschen an Brustkrebs, allein 70.000 davon in Deutschland. Das macht Brustkrebs zur häufigsten Krebsart bei Frauen. In den meisten Fällen tritt er spontan auf, die Gene spielen also keine Rolle. „In fünf bis zehn Prozent der Fälle aber treibt eine Mutation im Erbgut das Risiko in die Höhe, um bis zu 80 Prozent“, erklärt Harbeck. Eine Tatsache, die lange wenig bekannt war. Das änderte sich mit Angelina Jolies Artikel schlagartig – und so nachhaltig, dass Fachleute sogar von einem „Jolie-Effekt“ sprechen: Viele Frauen und Männer haben seitdem die Chance zur Vorsorge ergriffen und ihr Risiko mithilfe von Spezialisten abgeklärt. „Es ist gut, dass der Fall so viele Menschen für erblichen Brustkrebs sen-

sibilisiert hat“, sagt Harbeck. Zugleich ist sie froh, dass sich die Situation über die Jahre wieder beruhigt hat, denn die Verunsicherung sei groß gewesen. Allerdings: „Längst nicht alle Frauen mit Krebsfällen in der Familie weisen diese Gen-Veränderung auf. Und selbst wenn eine Mutation vorliegt, gibt es neben einer Mastektomie viele weitere Möglichkeiten, damit umzugehen.“

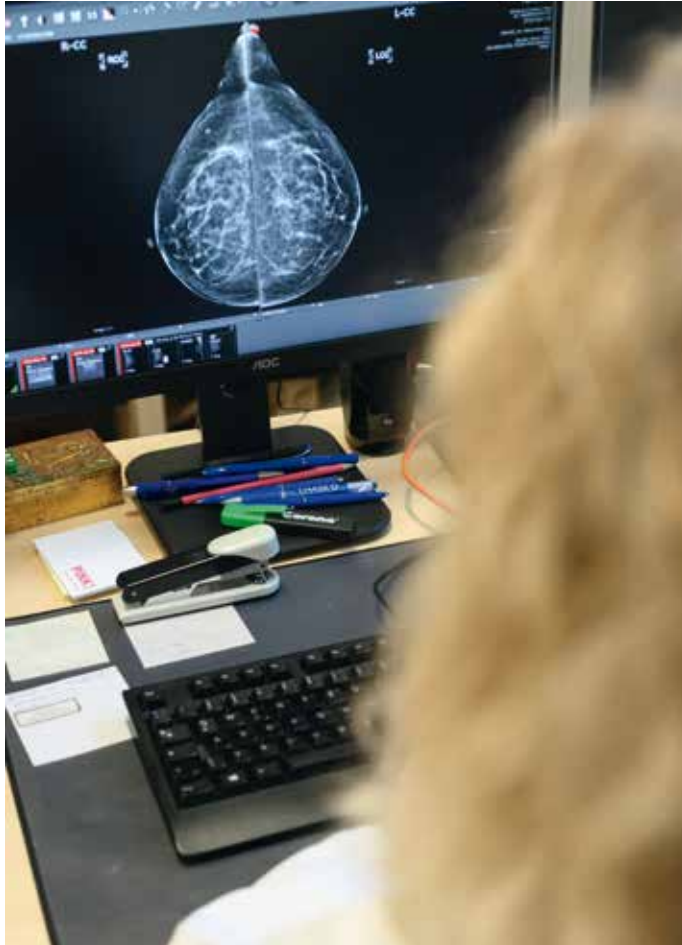
BRCA1, BRCA2, PALB2, CHEK2, RAD51C, ATM, BRIP1, CDH1, TP53: Die Forschung hat mittlerweile eine ganze Reihe von Genen identifiziert, deren Mutationen das Risiko für erblichen Brustkrebs erhöhen können. Schätzungen zufolge sind heute etwa die Hälfte der krankheitsverursachenden Genveränderungen bekannt, weitere werden gerade genauer untersucht. Die Aufregung darum hat sich gelegt, die Aufmerksamkeit aber ist geblieben: Viele schauen sich ihre Familiengeschichte genauer an, fragen nach. Woran ist die Tante so jung verstorben? Welche Krebsart hatte die Oma? Gibt es auffällig viele Krebsfälle in meiner Familie?

Die Familiengeschichte liefert die entscheidenden Hinweise auf Krebsgene. Neben einem gehäuftem Auftreten der Krankheit sind auch ein frühes Erkrankungsalter, beidseitiges Auftreten sowie eine Brustkrebserkrankung beim Mann wichtige Informationen. Angelina Jolies Mutter etwa starb mit 56 Jahren an Brust- und Eierstockkrebs, auch ihre Großmutter und eine Tante verlor sie an die Krank-



Die Tumorerkrankung im Blick: Krebsforscherin  
Nadia Harbeck, hier im Garten des Brustzentrums am  
LMU Klinikum, sucht nach neuen Therapien gegen  
Brustkrebs. Foto: Alessandra Schellnegger





Diagnose Krebs: Nadia Harbeck analysiert Mammographiefnahmen einer Patientin. Sie versucht, die notwendigen Therapien möglichst effektiv und gleichzeitig schonend zu gestalten. Fotos: Alessandra Schellnegger

heit. „Wer den Verdacht hat, betroffen zu sein, kann sein Risiko bei speziellen humangenetischen Beratungsstellen abklären lassen“, erklärt Harbeck, die sowohl Gynäkologin als auch Onkologin ist. Sollte der Verdacht sich im Gespräch erhärten, kann ein Gentest Klarheit schaffen. Dafür reichen ein paar Tropfen Blut.

Jede Frau geht anders mit dem Thema um, erzählt Harbeck. Manche wollen Gewissheit durch den Test, andere auf keinen Fall. Manche entscheiden sich für drastische Schritte, lassen sich Brüste und Eierstöcke vorsorglich entfernen. Andere warten damit bis zum Ausbruch

der Krankheit oder finden Sicherheit in engmaschiger Vorsorge. „Gerade bei den Eierstöcken ist eine Entfernung nach abgeschlossener Familienplanung aber oft sinnvoll, weil Vorsorge dort schlechter möglich ist als bei Brustgewebe“, erklärt Harbeck und erzählt ein wenig von ihren Patientinnen. „Ich habe zum Beispiel eine Patientin, die offensiv innerhalb ihrer Familie Aufklärung macht und offen über ihre Genmutation spricht.“ Generell beobachtet sie, dass viele Frauen heute gut informiert, aufgeklärt und unaufgeregt mit dem Thema umgehen. „Die meisten wissen, dass wir ihnen viel anbieten und sie gut begleiten können.“

Vorsorge und Früherkennung spielen dabei eine entscheidende Rolle. Bei einer genetischen Belastung beginnt sie früher, findet in kürzeren Intervallen und mit mehr Untersuchungsmethoden statt. Regelmäßige MRT-Aufnahmen etwa gehören dann zum Standard. Aber auch abseits der Gene ist Vorsorge ein entscheidender Faktor. „Je früher wir einen Tumor erkennen, desto besser stehen die Heilungschancen“, sagt Harbeck. Dass Brustkrebs heute als gut behandelbar gilt und in rund 80 Prozent der Fälle geheilt werden kann, ist auch ihr Verdienst. Seit vielen Jahren behandelt sie nicht nur Patientinnen, sondern erforscht auch, wie man



Die Krebstherapie zu verbessern, sieht Nadia Harbeck als ihre Lebensaufgabe an. Foto: Alessandra Schellnegger

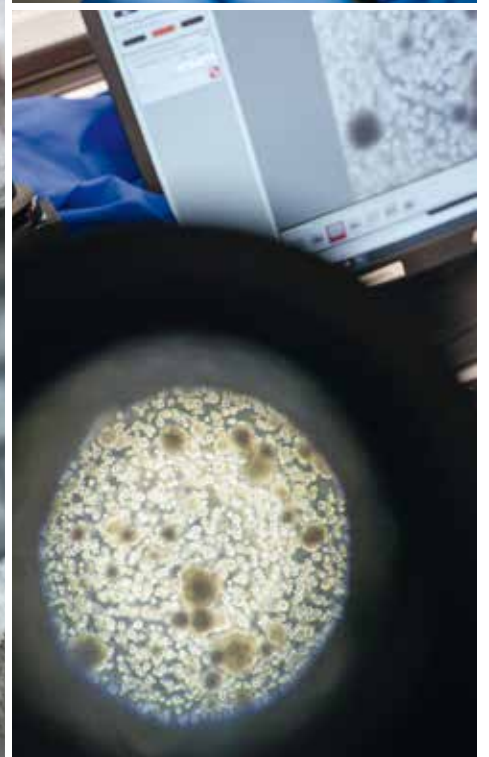
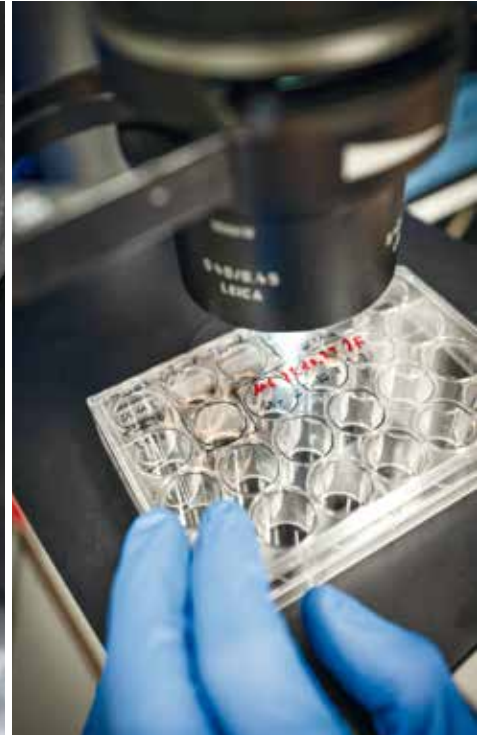
Therapien verbessern und schonender durchführen kann. Zum Beispiel mit der Westdeutschen Studiengruppe (WSG), an deren Studien zur Vermeidung von Chemotherapie bereits mehr als 15.000 an Brustkrebs erkrankte Frauen teilgenommen haben. Immer wieder hat sie wichtige Erkenntnisse beigesteuert und die Forschung so vorangetrieben.

Gerade erst wurden zum Beispiel die Ergebnisse einer internationalen Studie unter ihrer Co-Federführung veröffentlicht. Dafür testeten die Forschenden ein Medikament für eine bestimmte Form von Brustkrebs, die häufig mit Tumoren im Gehirn einhergeht. Diese sind sehr schwer zu behandeln, weil die meisten Wirkstoffe die Blut-Hirn-Schranke nicht

überwinden können. Ein zielgerichtetes Antikörper-Wirkstoff-Konjugat aber kann genau das – und damit die Überlebenschancen deutlich verlängern. 90 Prozent aller Patientinnen waren ein Jahr nach Beginn der Behandlung noch am Leben. „Diese Ergebnisse sind fantastisch und eine große Hoffnung für Patientinnen mit Hirnmetastasen“, sagt Harbeck.

**»Je früher wir einen Tumor erkennen, desto besser stehen die Heilungschancen.«**

Heute ist sie eine international gefragte Expertin, gestaltet die Leitlinien zur Behandlung der Erkrankung mit, präsentierte ihre Forschungsergebnisse weltweit auf Kongressen und wurde für ihre Arbeit mit zahlreichen Preisen ausgezeichnet, zu-



Suche nach neuen Antikörper-Wirkstoffen zur Behandlung von Brustkrebs: Proben von Krebszellen werden in Gefrierschränken aufbewahrt. An ihnen testen die Forschenden neue Therapien und beobachten ihre Wirkung auf die Zellen und das Gewebe. Foto: Alessandra Schellnegger



## »Wir machen heute keine 0-8-15-Therapien mehr, sondern schneiden alles genau auf die betroffene Frau zu.«

letzt gemeinsam mit Ulrike Nitz, ihrer Kollegin von der WSG, mit dem Deutschen Krebspreis 2023 oder auch als bisher einzige deutsche Wissenschaftlerin mit dem ESMO Lifetime Achievement Award 2020 der Europäischen Krebsgesellschaft. Die Krebstherapie zu verbessern, ist ihre Lebensaufgabe. „Dabei interessieren mich zwei Dinge: Zum einen, wie man die Therapien selbst noch effektiver machen kann. Zum anderen, wie man sie möglichst schonend einsetzen kann.“

Wirksamkeit nämlich ist das eine, Verträglichkeit das andere. „Wir schauen uns sehr genau an, welche Therapien wirklich nötig sind – und worauf man verzichten kann, ohne die Heilungschancen zu mindern.“ Also zum Beispiel: Ist wirklich eine belastende Chemotherapie nötig? Um das zu entscheiden, wird der Tumor genau analysiert und getestet, wie gut er beispielsweise auf eine Antihormontherapie reagiert. Lässt sich nachweisen, dass der Tumor dadurch weniger neue Zellen bildet? „Wir setzen uns Zwischenziele, schauen immer wieder: Was schlägt gut an? Wie reagiert der Tumor worauf?“ Gerade in frühen Stadien und wenn nur wenige Lymphknoten befallen sind, lassen sich Chemotherapien so oft vermeiden.

### Das noch nicht ausgeschöpfte Potenzial von Immuntherapien

Das große Stichwort moderner und schonender Therapien dabei ist Individualisierung. „Wir machen heute keine 0-8-15-Therapien mehr, sondern schneiden alles genau auf die betroffene Frau zu.“ Die Bausteine, die zur Behandlung zur Verfügung stehen, also etwa Chemotherapien, Bestrahlung und Operationen, aber auch Immuntherapien, Antihormontherapien und Antikörpertherapien, müs-

sen dafür passend kombiniert werden. Dabei gibt es viele Stellschrauben: In welcher Reihenfolge kommen die Therapien zum Einsatz? Wie kombiniert man sie am sinnvollsten? Welche Dosis braucht es? Welche Wirkstoffe sind besonders vielversprechend? „In der Krebstherapie hat sich in den letzten Jahren sehr viel getan und das Potenzial ist noch lange nicht ausgeschöpft“, sagt Harbeck. Immuntherapien zum Beispiel: „So wie sich Kinder manchmal unter der Bettdecke verstecken, verstecken sich Tumore vor dem Immunsystem – und mit modernen Medikamenten zieht man ihnen einfach die Decke weg“, erklärt die Ärztin. Das sei nur einer von vielen Meilensteinen der Krebstherapie.

Bislang sind in Deutschland drei Antikörper-Wirkstoffe zur Behandlung von Brustkrebs zugelassen. Harbeck will dazu beitragen, dass es noch viel mehr werden, das Potenzial solcher Therapien hält sie für noch lange nicht ausgeschöpft. Seit etwa einem Jahr läuft auf Initiative der WSG eine große, weltweit einzigartige Studie für Patientinnen mit frühem, nicht metastasiertem HER2-positivem Brustkrebs in Deutschland. Sie bekommen vor ihrer Operation viermal einen Antikörper-Wirkstoff gespritzt, was die Therapie für die Frauen deutlich erleichtert und verkürzt.

Muss man sich an einer führenden Uniklinik behandeln lassen, um von diesen modernen Therapien zu profitieren? Nadia Harbeck schüttelt den Kopf. „Wir haben 255 zertifizierte Brustkrebszentren in Deutschland, in denen Frauen sich

auf eine zeitgemäße und leitliniengerechte Behandlung verlassen können.“ Sie kämpft auch dafür, dass ihre Versorgung effektiver wird – und angenehmer für die Patientinnen. Harbeck ist nicht nur eine renommierte Forscherin, sondern auch vierfache Mutter. Sie kennt die Nöte der Frauen, ihre Eingebundenheit zwischen Beruf und Familie. „Da kann man viel Entlastung schaffen“, sagt sie. Auch das ist Teil ihrer Arbeit und der großen Versorgungsforschungsstudien an ihrer Klinik. So konnte ihr Team am LMU Klinikum zum Beispiel zeigen, dass digitale Anwendungen wie Apps und Künstliche Intelligenz eine gute Therapiebegleitung für die Frauen sein können. „Man kann damit zum Beispiel steuern, ob sie wirklich ständig für Termine in die Klinik oder zum Arzt müssen oder ob das nach Bedarf reicht.“

Ursprünglich ist Nadia Harbeck Gynäkologin geworden, weil sie gerne für Frauen in allen Lebensphasen da sein wollte und auch mit gesunden Menschen arbeiten wollte. Mit der Abzweigung in die Onkologie hat sich das etwas geändert. „Aber Menschen gesund machen ist auch eine sehr gute Aufgabe“, sagt sie, nimmt einen Schluck Kaffee und schielt auf die Uhr. Sie ist wieder auf dem Sprung, muss weiter. Ihre Patientinnen warten.

**Prof. Dr. med. Nadia Harbeck**, seit 2011 Professorin für Konservative Onkologie an der LMU, ist Fachärztin für Frauenheilkunde und Geburtshilfe und leitet das Brustzentrum, die Onkologische Tagesklinik sowie das Zentrum für Familiären Brust- und Eierstockkrebs der Frauenklinik der LMU.

# KI als Co-Pilot

Klare Problemstellung, genau angepasste Algorithmen, gute Daten: Der Wirtschaftsinformatiker Stefan Feuerriegel erklärt, wie sich Künstliche Intelligenz im Management erfolgreich einsetzen lässt.

Von Bernd Graff

Wenn man mit Stefan Feuerriegel, Leiter des LMU-Instituts für Künstliche Intelligenz (KI) im Management, über sein Metier gesprochen hat, dann bleibt vor allem eine Aussage des Forschers hängen: Er verbringe viel Zeit damit, so Feuerriegel, seinen Studierenden, „aber auch den Managerinnen und Managern aus den unterschiedlichsten Unternehmen zu erklären, was KI alles nicht kann.“ Sein Job sei dabei vor allem, „die übergroßen Erwartungen runterzuschrauben. Wenn mir das gelungen ist, können wir damit anfangen, erfolgreich mit KI zu arbeiten.“

Die Bemerkung des Professors hallt deswegen nach, weil KI derzeit entweder für das universale Allheilmittel oder aber für die menscheitsbedrohende Überintelligenz gehalten wird, deren Wirkweisen so oder so noch gar nicht abzuschätzen sind. Man ist gleichzeitig beeindruckt von den kreativen Hervorbringungen der KI und fürchtet doch eine aufkommende Autonomie der Rechner-Intelligenzen, die eigenmächtig Initiativen zur Gestaltung von Gesellschaft, Kultur und Geschichte ergreifen könnten. KI sei kein Werkzeug, sondern ein Akteur, so lautet die Befürchtung, die mitunter weit über ein Unbehagen hinausgeht. KI erscheint da als eine sich selbst organisierende „Black Box“, deren Entscheidungsfindungen die Kapazitäten menschlichen Denkens übersteigen und mysteriös bleiben. KI denke schneller, verarbeite mehr Informationen und berücksichtige mehr Parameter, als Men-

schen es je könnten. Mit KI scheine ein übermächtiger Gegenspieler erwachsen zu sein. Was ist dran an solchen Ängsten?

Nicht viel, wenn man Stefan Feuerriegel und seinem Ansatz folgt, wie sich diese Technologien erfolgreich implementieren lassen.

## Muster, Bilder, Texte, Musik: KI ist erfolgreich in ihrem digitalen Habitat

„Für uns ist zentral, dass wir die Entscheiderinnen und Entscheider, kommen sie nun aus dem Management, der Wissenschaft oder der Politik, in allen Phasen der KI-Implementierung im ‚Driver’s Seat‘ lassen“, sagt Feuerriegel. „Sie müssen ihre konkreten Probleme gelöst sehen und verstehen, wie die KI jeweils zu ihren Lösungsvorschlägen kommt.“ Die konkreten Anwendungen von KI blieben vor allem im Management auf eine relativ kleine Teilmenge von Problemen beschränkt. Weitreichende Entscheidungen wie bei Fusion, Übernahme oder Schließung von Unternehmen berührten fundamentale rechtliche und ethische Fragen. „Sie müssen in den Händen von Managerinnen und Managern bleiben.“ KI könne daher nur als Input für menschliche Entscheidungsprozesse dienen, nicht als deren Ersatz. „KI formuliert also keine grundsätzlichen Managementpositionen“, stellt Feuerriegel klar. „Sie hilft dabei, fundierte Entscheidungen zu treffen.“

KI ist eine rein mathematische Intelligenz. Sie ist Software, es sind Algorithmen, die auf Rechnern implementiert sind. Die Grenzen dieser rein mathematischen Umsetzung von Intelligenz liegen – abseits der Größe der Datensätze, mit denen sie trainiert wird – damit in den Grenzen der Mathematik selber. Nur die Probleme und Aufgabenstellungen aus der realen Welt, die sich in mathematischen Funktionen abbilden lassen, können von einer KI erfolgreich bearbeitet werden. KI kann in ihrem digitalen Habitat sehr gut Muster erkennen, Bilder, Texte, Stimmen und Musik synthetisieren und Fehler in der Konstruktion von Produkten identifizieren. Doch sie kann nicht Recht sprechen, Politik machen oder den richtigen Lebenspartner finden. Sie scheitert mitunter in der Konfrontation mit den komplexen Fragestellungen der Wirklichkeit.

Eine wichtige Säule der heutigen KI sind künstliche neuronale Netze, die als Deep-Learning-Netze aufgebaut sind. Das sind auf Computern laufende mathematische Simulationen, von denen man annimmt, dass damit die Informationsverarbeitung des Gehirns modelliert werden kann. Jedes maschinelle Lernen ist Lernen aus Daten. Das aber heißt: Damit Problemstellungen von der lernenden mathematischen Funktion einer KI abgebildet werden können, müssen ausreichend grundlegende Daten vorhanden sein.

Immer wieder macht Feuerriegels Team Proben aufs Exempel: So wurden seine Large Language Models (LLMs) etwa da-



„Es kann nicht oft genug betont werden: Menschen entscheiden“, sagt Stefan Feuerriegel. „Darum müssen die Vorschläge, die Künstliche Intelligenzen machen, plausibel und nachvollziehbar bleiben.“ Foto: Florian Generotzky

rauf trainiert, die langfristige Wirkung von Hatespeech in den Sozialen Medien zu verfolgen. „Wir konnten auch quantitativ nachweisen, wie infektiös Hatespeech ist. Die Kaskaden, in denen sie sich im Netz verteilt, werden größer, halten sich länger und weisen eine größere strukturelle Viralität auf als die von ‚normalen‘ Posts“, sagt Feuerriegel. Ebenso half die Methode seinem Team Zusammenhänge von Emotionen und Viralität von Fake News erkennen. Auch pro-russische Propaganda seit Beginn des völkerrechtswidrigen Angriffs auf die Ukraine konnten die Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler so identifizieren und etwa die Aktivitätspeaks pro-russischer Bot-Armeen im Gefolge der militärischen Invasion nachzeichnen.

Stefan Feuerriegel rät seinen Studierenden wie Auftraggebern darum nicht nur, vor jeder KI-Implementierung erst einmal die eigene Datenlandschaft auf Größe und Konsistenz zu überprüfen. Und er fordert sie auf, exakt zu bestimmen, welches Problem sie konkret von einer KI gelöst sehen wollen. „Wir entwickeln, implementieren und beurteilen auf dieser Grundlage neue KI-Algorithmen, um die Entscheidungsprozesse von Menschen zu optimieren. Und es kann nicht oft genug betont werden: Menschen entscheiden“, sagt Stefan Feuerriegel. „Darum müssen die Vorschläge, die Künstliche Intelligenzen machen, plausibel und nachvollziehbar bleiben.“

Seine Anwendungsfälle für Unternehmen sind darum so gestaltet, dass der jeweils aufgespannte KI-Rahmen Manager dazu in die Lage versetzt, evidenzbasierte Entscheidungen gemäß den selbstgesetzten Maßgaben zu treffen. Dieser immer auf die Entscheider zentrierte Ansatz seiner „vertrauenswürdigen KI“ ist erstaunlich vielseitig, sagt Feuerriegel. Der LMU-Wissenschaftler hilft zum Beispiel Investoren dabei, erfolgversprechende Start-



## »Für uns ist zentral, dass wir die Entscheiderinnen und Entscheider in allen Phasen der KI-Implementierung im ‚Driver’s Seat‘ lassen.«

ups auf Plattformen für Venture Capital ausfindig zu machen. Maschinelles Lernen ermöglicht etwa auch, die Mittel für Entwicklungshilfe effizient zu vergeben oder den Effekt von Innovationen beim Einsatz neuer Klima-Technologien zu verfolgen.

### Ergebnisse aus dem opaken Maschinenraum der Intelligenzen

Doch trotz der Vorteile dieses „Human-in-the-Loop“-Ansatzes fällt es Unternehmen immer noch schwer, Managerrollen und KI-Anwendungen in kollaborativen Lösungsansätzen sinnvoll zu kombinieren. Einer der einsichtigsten Gründe ist, dass Verantwortlichkeiten nicht an Maschinen delegiert werden dürfen. Organisationen verzögern darum Veränderungen. Und Bedenken gegen Künstliche Intelligenz bleiben bestehen: Wann und wie sollten Manager in diese rechnergestützten Prozesse eingreifen? Sollten sie alle Teilschritte bei einer Entscheidungsfindung absegnen oder nur solche mit hohem Risiko, bei denen die KI zwar Ergebnisse liefert, von denen indes unklar bleibt, wie genau sie im opaken Maschinenraum der Intelligenzen zustande gekommen sind?

Zudem gibt es in fast allen Unternehmen einen über Jahrzehnte angesammelten, höchst spezifischen Datenschatz und eigene Experten mit hohem implizitem

Wissen. Auf solch originärem Wissen basiert oft der Erfolg der Firmen. Wie also können diese exklusiven Daten fruchtbar für KI-Prognosen eingesetzt werden, aber so, dass die exklusive Expertise nicht in die Hände Dritter gerät. „Interpretierbarkeit bleibt darum der Schlüssel“, sagt Stefan Feuerriegel. „Wenn wir Managern raten, ihre Erwartungen an KI herunterzuschrauben, tun wir das nicht, um sie zu desillusionieren, sondern um sie ins Boot zu holen.“

Feuerriegels Einsatz von KI kann grob in zwei Kategorien unterteilt werden: in von Natur aus interpretierbare Modelle und in Post-hoc-Erklärmodelle. Bei von Natur aus interpretierbaren Algorithmen kann die Entscheidungsfindung des Algorithmus von Menschen unmittelbar nachvollzogen werden, zum Beispiel durch die Einsicht der Aufteilungsregeln in Entscheidungsbäumen oder durch Bestimmung der Koeffizienten in der von den Algorithmen angewandten linearen Regression. Lineare Regression bedeutet, die Beziehung zwischen Variablen „plausibel zurückzuführen“. Die KI nutzt dabei vorhandene Daten, um Aus- und Vorhersagen über die Beziehung zwischen ihnen zu machen, und „regrediert“ sie, um aufzuzeigen, wie die Veränderung einer Variable eine andere Variable beeinflusst.

„Und wenn Managerinnen und Manager hören, dass wir mit unserer KI nichts anderes als das Verfahren der Linearen Regression anwenden“, so Feuerriegel, „also etwas, was sie im zweiten Semester ihres



„Die eine KI für alle Fälle“? Die gibt es nicht, sagt Stefan Feuerriegel. Unternehmen müssten vorab definieren, „was genau ihr Problem ist. Wir entwickeln dann Algorithmen, die genau dazu passen.“ Foto: Florian Generotzky







Proben aufs Exempel: Feuerriegels KI-Lösungen helfen, Hilfsgüter wie hier besser zu verteilen (oben), die Effekte von Klimatechnologien wie Carbon Capture and Storing (unten links) genauer abzuschätzen oder Strompreise in Abhängigkeit von Wetterdaten zu prognostizieren. Fotos: Christophe Gateau / Picture Alliance / dpa; Kelly Wilkinson / IMAGO / Imagin Images; Stephan Schulz / Picture alliance / dpa-Zentralbild



# »Wir stellen den Unternehmen aber zwei Glaskugeln zur Verfügung. Wir zeigen einmal, was eine Entscheidung bewirkt. Und einmal, was passiert, wenn man sich davor drückt.«

Studiums gelernt haben, dann merken sie, dass KI kein Hexenwerk ist, sondern einfach ein bisschen Mathematik, kombiniert mit Rechenzeit und guten Daten.“ Mit dem Modell einer solch generalisierten linearen Regression haben Stefan Feuerriegel und sein Team beispielsweise untersucht, wie sich Strompreise in Abhängigkeit von Wetterdaten prognostizieren lassen. Oder aber sie konnten Aussagen darüber machen, wie lange eine Maschine in einem Unternehmen noch eingesetzt werden kann, bevor sie ersetzt werden muss.

Post-hoc-Erklärtechniken, die andere Variante der von Feuerriegel favorisierten KI-Modelle, kommen dann zum Einsatz, wenn die inneren Abläufe eines KI-Algorithmus zu komplex werden, um von Menschen verstanden zu werden, wie etwa bei den Vorgängen in tiefen neuronalen Netzen. Es sind Methoden, die nachträglich dazu verwendet werden, die Ergebnisse von Black-Box-Algorithmen zu erklären, indem man sie durch ein einfacheres Modell veranschaulicht, etwa durch Heatmaps. Sie heben visuell die Bereiche hervor, die für die von der KI getroffenen Vorhersagen am relevantesten sind. Experten können die KI-Erklärungen dann mit ihrem Fachwissen vergleichen, sie validieren oder die KI überstimmen, wenn sie nicht korrekt ist.

So hat Feuerriegel im Qualitätsmanagement bei der Herstellung von Halbleitern „digitale Zwillinge“ einer realen Produktion erstellt – es sind Echtzeit-Virtualisie-

rungen der entsprechenden realen, physischen Entscheidungsumgebungen –, in denen die KI fehlerhafte Produkte parallel zu menschlichen Prüfern mit Heatmaps markiert und deren Identifizierung begründet. Stefan Feuerriegel nennt solche Hilfestellungen gerne „minimalinvasive KI“.

## Was, wenn der Patient das Medikament nicht bekommen hätte?

Ein weiteres Modell der LMU-Forscher als „Counterfactual Inference“, als Schlussfolgerung aus einer „Was-wäre-wenn“-Frage. Es geht darum, eine KI simulieren zu lassen, was passiert wäre, wenn sie andere Variablen unter anderen Bedingungen verwendet hätte und demnach zu anderen Ergebnissen gekommen wäre. Counterfactual Inference untersucht also hypothetische Situationen mit derselben mathematischen Akribie wie die faktischen. Das ist nützlich, um kausale Zusammenhänge zu verstehen und zu klären, ob eine bestimmte Entscheidung wirklich einen positiven Effekt hatte. Stefan Feuerriegel bringt ein Beispiel aus der Medizin: Angenommen, ein Patient bekommt ein Medikament und wird gesund. Die kontrafaktische Simulation errechnet, was passiert wäre, wenn der Patient das Medikament nicht oder in anderer Dosierung genommen hätte. Wäre er trotzdem gesund geworden? Counterfactual Inference hilft also herauszufinden,

wie groß der Einfluss einer Entscheidung oder eines Ereignisses tatsächlich auf das Ergebnis ist.

Feuerriegel hat auch mit den Betreibern der Website einer namhaften überregionalen Tageszeitung zusammengearbeitet, um herauszufinden, welche Inhalte zu welcher Tageszeit an welcher Stelle ihrer Homepage platziert werden sollen.

„Werde ich gefragt werde, wie ich mich verstehe, bezeichne ich mich als ‚Problemlöser‘“, sagt Stefan Feuerriegel. „Um Probleme lösen zu können, müssen die Organisationen aber ihren Beitrag leisten und vorabdefinieren, was genau ihr Problem ist. Wir entwickeln dann Algorithmen, die genau dazu passen.“ Es gebe eben nicht „die eine KI für alle Fälle“, jedes Problem müsse man anders angehen. „Wir stellen den Unternehmen aber zwei Glaskugeln zur Verfügung. Wir zeigen einmal, was eine Entscheidung bewirkt. Und einmal, was passiert, wenn man sich davor drückt.“

### Prof. Dr. Stefan Feuerriegel

leitet das Institut für Künstliche Intelligenz (KI) im Management an der LMU. Er hat eine Doppelprofessur an der LMU Munich School of Management und der Fakultät für Mathematik, Informatik und Statistik der LMU. Feuerriegel, Jahrgang 1989, studierte an der RWTH Aachen und wurde mit einer Arbeit am Lehrstuhl für Wirtschaftsinformatik der Universität Freiburg promoviert. Feuerriegel war Assistenzprofessor an der ETH Zürich, bevor er 2021 an die LMU kam.

# Verschlüsselung im Weltall

Das nennt man echte Pionierarbeit: Ein Team von LMU-Quantenphysikern testet mittels Minisatellit neue Technik für abhörsichere Quantenkryptographie, um in der Zukunft globale Netze zur abhörsicheren Kommunikation zu schaffen. Über den Beginn einer kniffligen Mission

Von Janosch Deeg

Es ist Freitagabend, der 16. August 2024. In der Testhalle des Zentrums für Telematik e.V. (ZfT) in Würzburg schwankt die Stimmung der Anwesenden zwischen Euphorie und Anspannung. Der Grund dafür ist ein schuhschachtelgroßer und rund dreieinhalb Kilogramm schwerer Minisatellit, der endlich seine Reise in den Weltraum antreten wird. In jahrelanger, aufwendiger Detailarbeit wurde er zusammengebaut und mit jeder Menge Hightech ausgestattet. Die braucht es auch. Denn nichts weniger als neu entwickelte Komponenten für abhörsichere Kommunikation mittels Quantenverschlüsselung aus dem All sollen mit der Mission getestet werden. Dazu muss aber erst der Start der SpaceX-Rakete von der US-amerikanischen Vandenberg Air Force Base in Kalifornien klappen. Mehrmals wurde er verschoben, doch an diesem Tag sind die Bedingungen nahezu perfekt.

Die Idee, Informationen zu verschlüsseln, indem man die Gesetze der Quantenmechanik nutzt, stammt bereits aus den 1980er-Jahren. Das Fundament bilden quantenmechanische Zustände, zum Beispiel die Polarisation von Photonen – vereinfacht gesagt ihre Schwingungsrichtung – oder der Anregungszustand von Atomen. „Ein Abhörer, der sich Informationen über einen Quantenschlüssel verschaffen möchte, würde entdeckt werden, weil er dabei den Zustand des Quantensystems verändert“, erklärt Ha-

rald Weinfurter, Professor für Experimentelle Quantenphysik an der LMU, Mitglied im Exzellenzcluster MCQST und ein Pionier der Quantenkryptographie. Die Sicherheit gegenüber Lauschangriffen fußt also auf grundlegenden Gesetzen der Physik. Bei herkömmlichen Kryptographiemethoden ist das hingegen nicht so: Klassische Schlüssel, wie sie gegenwärtig bei den meisten Vorgängen im Internet erzeugt werden, lassen sich im Prinzip mit Quantencomputern knacken. Heißt: Wird diese Technik tatsächlich einsatzfähig, wäre ein Großteil der heutigen Verschlüsselungsmethoden nicht mehr sicher. Es besteht also Handlungsbedarf.

## Schlüsselaustausch über ein 700 Meter langes Glasfaserkabel

Mehr als ein Jahrzehnt untersucht Weinfurter schon zusammen mit seinen Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern an der LMU die Möglichkeiten und Grenzen der Quantenkryptographie. Einen Erfolg feierte das Team etwa im Jahr 2022. Damals konnte es zeigen, dass sich ein Schlüsselaustausch mittels zweier verschränkter Quantensysteme bestehend aus zwei Rubidiumatomen realisieren lässt, die sich in 400 Meter voneinander entfernten Laboren auf dem LMU-Campus befanden. Die beiden Systeme waren über ein 700 Meter langes Glasfaserkabel verbunden,

das unter dem Geschwister-Scholl-Platz vor dem Hauptgebäude der Universität verlief. Allerdings dämpft Glasfaser sehr stark: „Alle 50 Kilometer sinkt die Signalstärke um den Faktor zehn – nach 50 Kilometern haben wir also nur noch zehn Prozent des Signals, nach 100 Kilometern nur mehr ein Prozent und so weiter“, sagt Weinfurter. Daher sind die jetzt schon erhältlichen kommerziellen Systeme typischerweise für eine Entfernung von ungefähr 70 bis 100 Kilometer ausgelegt. Doch geht da nicht vielleicht mehr?

Photonen, also Lichtteilchen, könnten theoretisch in der Luft viel größere Entfernungen überbrücken. Allerdings ist dieser Ansatz auf der Erde nicht praktikabel, denn man braucht stets freie Sicht zwischen den beiden Austauschorten. Weinfurters Gruppe hat so im Rahmen einer europäischen Kollaboration bereits im Jahr 2007 spektakulär Quantenschlüssel über 144 Kilometer zwischen Teneriffa und La Palma ausgetauscht. Die Photonen wurden dazu über der Wolkengrenze bei trockener Luft versendet. Solche Bedingungen herrschen allerdings nicht oft.

Doch was wäre, wenn sich einer dieser Standorte im Weltall befindet? Von dort hätten die Photonen in der Regel freie Bahn zu einer Empfangsstation auf der Erde. Hier kommt das interdisziplinäre Konsortium QUBE ins Spiel, das Weinfurter initiierte und das vom Bundesministerium für Bildung und Forschung

Mit reichlich Getöse hebt die SpaceX-Rakete Falcon 9 von der US-amerikanischen Vandenberg Air Force Base in Kalifornien ab. Nach zwei Stunden Flug soll sie den Forschungssatelliten QUBE in einer Höhe von rund 500 Kilometern aussetzen. Im Bild zu sehen ist der Start einer Falcon 9 im September 2024. Foto: ESA – S. Corvaja





## »Kritisch an der Mission ist nur der Start, da gibt es am meisten Vibrationen. Oben im All ist es dann eigentlich ziemlich ruhig.«

(BMBF) finanziert wird. Neben dem ZfT und der LMU sind unter anderem auch das Max-Planck-Institut für die Physik des Lichts in Erlangen und das Deutsche Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR) mit an Bord. Mit QUBE und dem bereits laufenden Nachfolgeprojekt QUBE-II möchten die Beteiligten herausfinden, ob sich Quantenschlüssel auch zwischen einem kleinen Satelliten und der Erde austauschen lassen – über mehr als 500 Kilometer Entfernung.

### Erfolgreich in 500 Kilometer Höhe ausgesetzt

Zu diesem Zweck hat ein Team des ZfT in Würzburg QUBE entwickelt. Und das Münchner Team um Weinfurter hat ein komplexes Quantenmodul konstruiert und beigesteuert, High-Tech auf engstem Raum: „Das ist eine kleine Platine mit vier Lasern darauf, die Photonen mit vier bestimmten Quantenzuständen erzeugen können“, berichtet Weinfurter. Zudem befindet sich im Satelliten ein optisches Miniteleskop, das sich von der Erde aus ansteuern lässt und in dem ein fein justierbarer winziger Spiegel die Photonen präzise zur Bodenstation der DLR in Oberpfaffenhofen lenken kann. Dort wird man dann mit einem Spiegelteleskop versuchen, die Photonen aufzufangen, um anschließend ihre Polarisierung zu bestimmen.

Der Minispiegel sei eines der empfindlichsten Bauteile des Satelliten, sagt Weinfurter. „Kritisch ist aber nur der Start, da

gibt es am meisten Vibrationen. Oben ist es dann eigentlich ziemlich ruhig“, beschwichtigt er. Gleichwohl lauern andere Gefahren: Hochenergetische Strahlen aus den Tiefen des Alls könnten die Elektronik zerstören. „Das würde etwa bedeuten, dass ein Speicherchip oder eben irgendein Transistor kaputtgeht“, sagt Weinfurter – mit dieser Bedrohung sei die Raumfahrt aber immer konfrontiert. Und natürlich wurden genügend Vorsichtsmaßnahmen getroffen, um sich vor derartigen Risiken zu schützen. Funktionieren die Experimente wie geplant, könnten künftig mittels solcher Quantensatelliten globale Netze zur abhörsicheren Kommunikation entstehen, so die Vision.

Doch dazu muss QUBE zunächst erfolgreich in den Erdbereich verfrachtet werden. Also zurück zur Launch-Party in Würzburg: In der Halle verfolgen alle gebannt das Schicksal des kleinen Satelliten im Livestream. Um 20:56 Uhr mitteleuropäischer Zeit ist es so weit. Die Rakete hebt mit reichlich Getöse ab. Nach zwei Stunden wird QUBE in einer Höhe von rund 500 Kilometern ausgesetzt. Erleichterte Gesichter, als der Funkkontakt zum Quantensatelliten steht. Aber jeder weiß: Bis zum Ziel der Mission ist es noch ein weiter Weg.

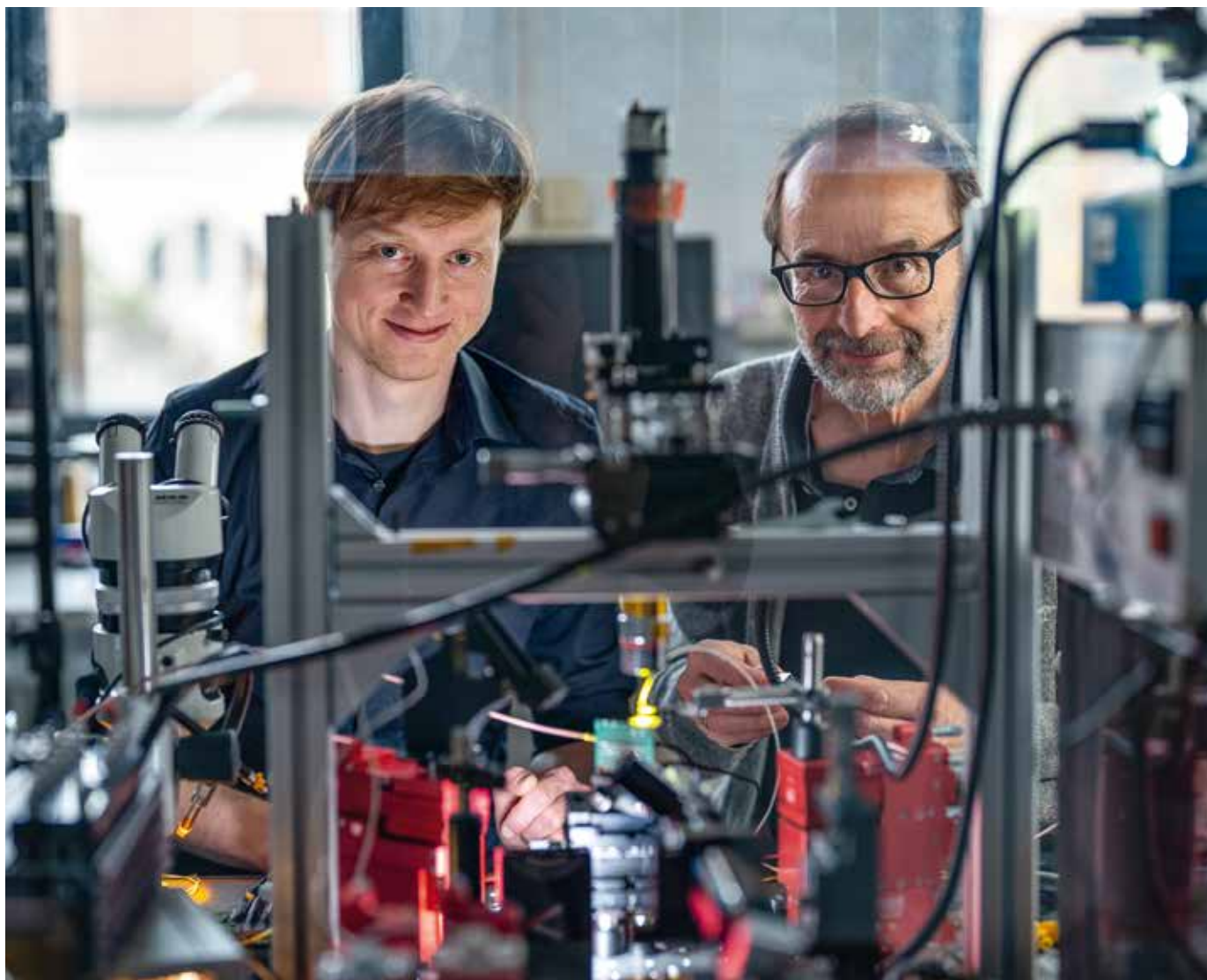
In den kommenden Wochen testet das Würzburger Forscherteam nun die Kommunikation mit der Bodenstation. Dazu gehört zum Beispiel das Ausführen bestimmter Befehle: „Daten speichern, Updates aufspielen, Batterien prüfen“, zählt Weinfurter auf. „Man kann es sich vorstellen wie das Herauffahren eines Rechners,

mit dem Unterschied, dass man den Bordcomputer nur einige Minuten am Tag ansprechen kann“, erklärt der Physiker. Das liegt daran, dass der Satellit um die Erde kreist und jeden Tag nur für kurze Zeit Funkkontakt zum Kommunikationszentrum hergestellt werden kann. „Für unsere Experimente haben wir maximal fünf Minuten Zeit.“ Noch ist es aber nicht so weit. „Unsere Komponenten gehen erst in Betrieb, wenn alles andere funktioniert“, bremst der Experte die Euphorie.

Einige Tage nach dem Start treten erste Verzögerungen auf: Nur 30 Prozent der Datenpakete, die der Satellit per Mikrowellen sendet, werden empfangen. Die gute Nachricht: „Die Antennen des Satelliten müssen sich ausgefaltet haben, sonst bekäme man gar kein Signal“, so Weinfurter. Also suchen die Würzburger Kollegen das Problem auf der Erde, testen die Ausrichtung ihrer Empfangsantennen und die Verstärker der Signale, justieren Einstellungen. Mitte Oktober steht die Kommunikation zum Satelliten. Weitere Tests folgen, unter anderem muss sich QUBE exakt im Raum ausrichten lassen, was eine Grundvoraussetzung für die späteren Quantenexperimente ist. Dazu nutzt der Satellit eine Minikamera, die die Sterne fotografiert und die Aufnahmen dann mit einer Datenbank abgleicht, um seine Lage zu bestimmen.

### Quantenexperimente im All sollen schon 2025 laufen

In den Wintermonaten möchten Weinfurter und sein Team dann ihr Modul testen: „Wir prüfen zum Beispiel, ob sich alle Komponenten ansteuern und einschalten lassen.“ Er ist optimistisch, dass schließlich im Frühjahr 2025 die ersten Quantenexperimente starten können. Dann ist vor-



Pionierarbeit: Mit ihrem Projekt QUBE und dem Nachfolgeprojekt QUBE-II möchten Lukas Knips (links) und Harald Weinfurter herausfinden, ob sich Quantenschlüssel auch zwischen einem kleinen Satelliten und der Erde austauschen lassen. Foto: Christoph Hohmann / LMU / MCQST

aussichtlich auch das Wetter wieder stabiler. Denn bei bedecktem Himmel dringt das Licht nicht zur Erde durch. Und selbst bei klarer Sicht werden sich die Photonen grob auf eine Kreisfläche von 150 Metern Durchmesser verteilen, so Weinfurter. Das liegt daran, dass sich mit der bislang verwendeten Optik noch nicht präziser zielen lässt. „Wir werden mit rund 50 Photonen pro Puls anfangen, vielleicht funktioniert es auch mit nur 10.“ Nur

dann wird hin und wieder eines davon im Teleskop landen. „Der erste Schritt ist dann, die Polarisation der aufgefangenen Photonen zu messen“, sagt Weinfurter.

Im zweiten Schritt will das Team versuchen, den quantenmechanischen Schlüsselaustausch zu simulieren. Dazu muss sowohl das Verschicken als auch das Messen der Polarisationszustände unter einer bestimmten Basis erfolgen, wie Physiker

sagen. Der Sender, in der Regel Alice genannt, wählt dazu für jedes verschickte Photon zufällig eine von zwei Basen aus. Bob, der Empfänger, misst ebenfalls in einer der beiden Basen. Erst im Nachhinein werden die jeweils von Alice gewählten Basen an Bob mitgeteilt. Nur die unter der gleichen Basis gemessenen Photonen enthalten Informationen über den Schlüssel. Der Austausch der Basen kann sogar öffentlich geschehen, weil diese nach-



Testlauf im Labor: Im Zentrum für Telematik (ZfT) Würzburg prüfen Experten den Minisatelliten QUBE. Zentral ist es später, dass sich QUBE im All hochpräzise ausrichten lässt. Foto: ZfT

trägliche Information dem Abhörer nicht mehr hilft. Er musste seine Messungen bei beiden Baseneinstellungen verwenden und verursachte so Fehler in der Übertragung. Das würde Alice und Bob signalisieren, dass ein Lauschangriff stattgefunden hat. Anhand der Fehlerrate könnten die beiden dann sogar den Anteil der abgehörten Information bestimmen.

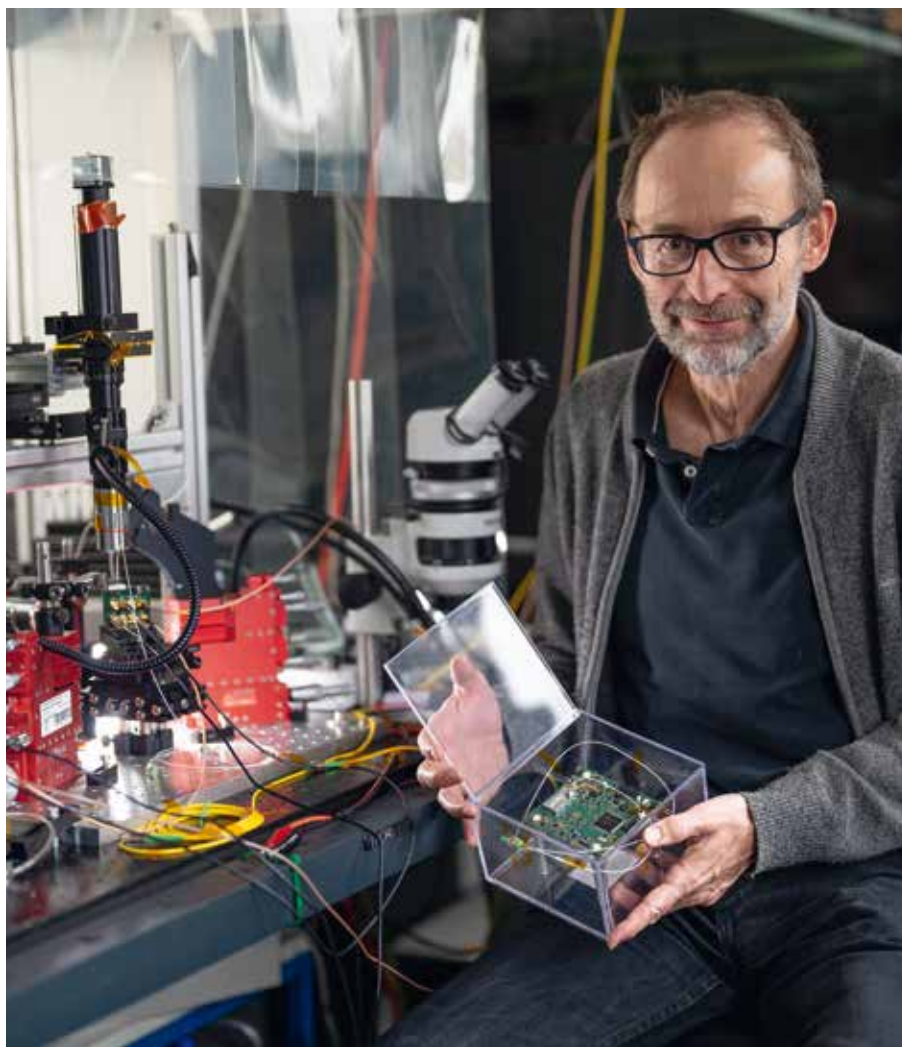
Verläuft alles nach Plan, dann wird die Mission demonstrieren, dass die verwen-

deten Komponenten für einen Austausch eines Quantenschlüssels geeignet sind. In der von Weinfurters Mitarbeiter Lukas Knips geleiteten Nachfolgemission Qube II – der geplante Minisatellit wird doppelt so groß sein und befindet sich bereits im Bau – soll dann eine bessere Optik zum Einsatz kommen, mit der man noch genauer zielen kann. Damit könnte es dann auch gelingen, wirklich einzelne Photonen zu senden und zu detektieren. „Es war schon immer klar, dass erst in einer

Nachfolgemission wirklich Schlüssel ausgetauscht werden können.“ Zu diesem Zweck entwickelt Knips für den neuen Satelliten unter anderem ein zusätzliches Prozessor-Board, das den Schlüsselaustausch steuert.

Nehmen wir also an, künftig ist es möglich, via Weltall Quantenschlüssel zu verschicken. Wie würde eine Kommunikation dann praktisch aussehen? „Ein Satellit könnte zum Beispiel mit Oberpfaffen-





Gewogen und für gut befunden: 3,533 Kilogramm schwer ist der Minisatellit, für den Harald Weinfurter (rechts) gemeinsam mit Lukas Knips neue Prozessor-Boards entwickelt hat, die den Austausch der Quantenschlüssel steuern. Fotos: ZfT, Christoph Hohmann / LMU / MCQST

hoben einen Schlüssel austauschen. Dann fliegt er weiter um die Erde und tauscht dann einen Schlüssel mit irgendeinem anderen Ort auf der Erde aus“, sagt Weinfurter. „So könnte man quasi zwischen allen beliebigen Punkten auf der Erde sicher kommunizieren, solange man dem Satelliten traut.“

Bei diesem System geht es also nur darum den Schlüssel zu teilen, die verschlüsselten Daten werden weiterhin

über bestehende Infrastrukturen ausgetauscht und dann auf den Endgeräten dechiffriert. „Ein weiterer Schritt wäre, dass wir ein Netzwerk aus verschränkten Quantensystemen auf der Erde aufbauen“, sagt Harald Weinfurter – ähnlich den oben erwähnten Experimenten mit den Rubidiumatomen. „Solche Verbindungen wären wirklich sicher, weil an Zwischenknoten keine Information mehr vorhanden ist, die sich abgreifen lässt.“ Bis das aber wirklich Realität wird, müs-

sen noch etliche Herausforderungen gemeistert werden. So ist das eben mit Pionierarbeit.

#### Prof. Dr. Harald Weinfurter

ist Professor für Experimentelle Quantenphysik an der LMU. Weinfurter, Jahrgang 1960, studierte Technische Physik an der TU Wien, wo er auch promoviert wurde. Nach Stationen am Hahn-Meitner-Institut in Berlin und der Universität Innsbruck, wo er sich habilitierte, kam er 1999 an die LMU. Er ist Mitglied im Exzellenzcluster MCQST.



Eine Tracht Blasphemie: *Die Jungfrau Maria züchtigt das Jesuskind vor drei Zeugen* nennt Max Ernst sein Gemälde von 1926 und kehrt damit die christliche Bildmetaphorik gleichsam um. Die Zeugen oben im Mauerdurchbruch sind im Übrigen drei Granden des Surrealismus: André Breton, Paul Éluard und Max Ernst. Foto: VG Bild-Kunst / akq-images

## Traumtexter



Vor 100 Jahren veröffentlichte der französische Dichter André Breton das erste Manifest des Surrealismus. Es ging darum, die Welt anders zu sehen, ohne Kontrolle der Vernunft, dank „psychischen Automatismus“ und dem zweckfreien „Spiel des Denkens“. Künstlerinnen und Künstler wie Salvador Dalí und Joan Miró zählten zur Gruppe. Bis heute dominieren in der öffentlichen Wahrnehmung die surrealistischen Werke der bildenden Kunst.

Welch zentrale Rolle auch Lyrik und Prosa für den Surrealismus spielten, zeigt der Literaturwissenschaftler Andreas Puff-Trojan in seiner Einführung. Viele Mitglieder der Bewegung schrieben Gedichte. Diese zeichnen sich durch „radikale“ Metaphern aus, die einander zu widersprechen scheinen, und den „Zusammenbruch des Intellekts“. „Traumtexte“ sollten das Unbewusste auf Papier bringen. Die Abgrenzung gegenüber Logik und vor allem den Konventionen des Bürgertums prägten Werk wie Leben der Gruppe. Frauen indes blieb die Rolle der Muse, als Künstlerinnen standen sie wie etwa Meret Oppenheim oder Leonora Carrington lange im Schatten. Inzwischen allerdings, so schreibt Puff-Trojan, nehme das historische Interesse an ihnen zu. (eins)

Andreas Puff-Trojan: Der Surrealismus. Kunst, Literatur, Leben. C.H. Beck Wissen, München 2024, 128 Seiten, 12 Euro

## Experiment geblieben



Auch der Amerikanist Pierre-Héli Monot gräbt im Fundus von 100 Jahren Surrealismus, dieser Kreuzung von künstlerischer Avantgarde und bürgerlicher Aufbruchsbewegung. Monot aber, Fachmann für die politische Kultur von Pamphlet und Manifest, interessiert am Surrealismus vor allem die Politik, weniger die Kunst. *Hundert Jahre Zärtlichkeit* ist eine sehr subjektive Auseinandersetzung mit „Surrealismus, Bürgertum, Revolution“.

Ausgangspunkt von Monots Überlegungen ist ein Satz Bretons, wonach in der kapitalistischen Gesellschaft „die Hypokrisie und der Zynismus“ jedes Maß verloren hätten. Monot spiegelt die Kritik der Surrealisten, die Suche von Angehörigen des Bürgertums nach einer widerspruchsfreien antibürgerlichen Position und radikaler gesellschaftlicher Veränderung, an der Verfasstheit heutiger Gesellschaften. Der Essay sei, heißt es im Klappentext, „ein Buch über tiefe Krisen und überforderte Bürger“. Wäre die Bewegung nicht „schulisch, kunstgeschichtlich und politisch verschüttet“, meint Monot, könnte sie in der heutigen Konstellation als Stimme zählen. Seinerzeit „gescheitert“ sei sie indes „in der Normalisierung einer konsequenzreichen Bürgertumskritik“. (math)

Pierre-Héli Monot: Hundert Jahre Zärtlichkeit. Surrealismus, Bürgertum, Revolution: Matthes & Seitz, Berlin 2024, 199 Seiten, 20 Euro

## Wir, das Betriebssystem

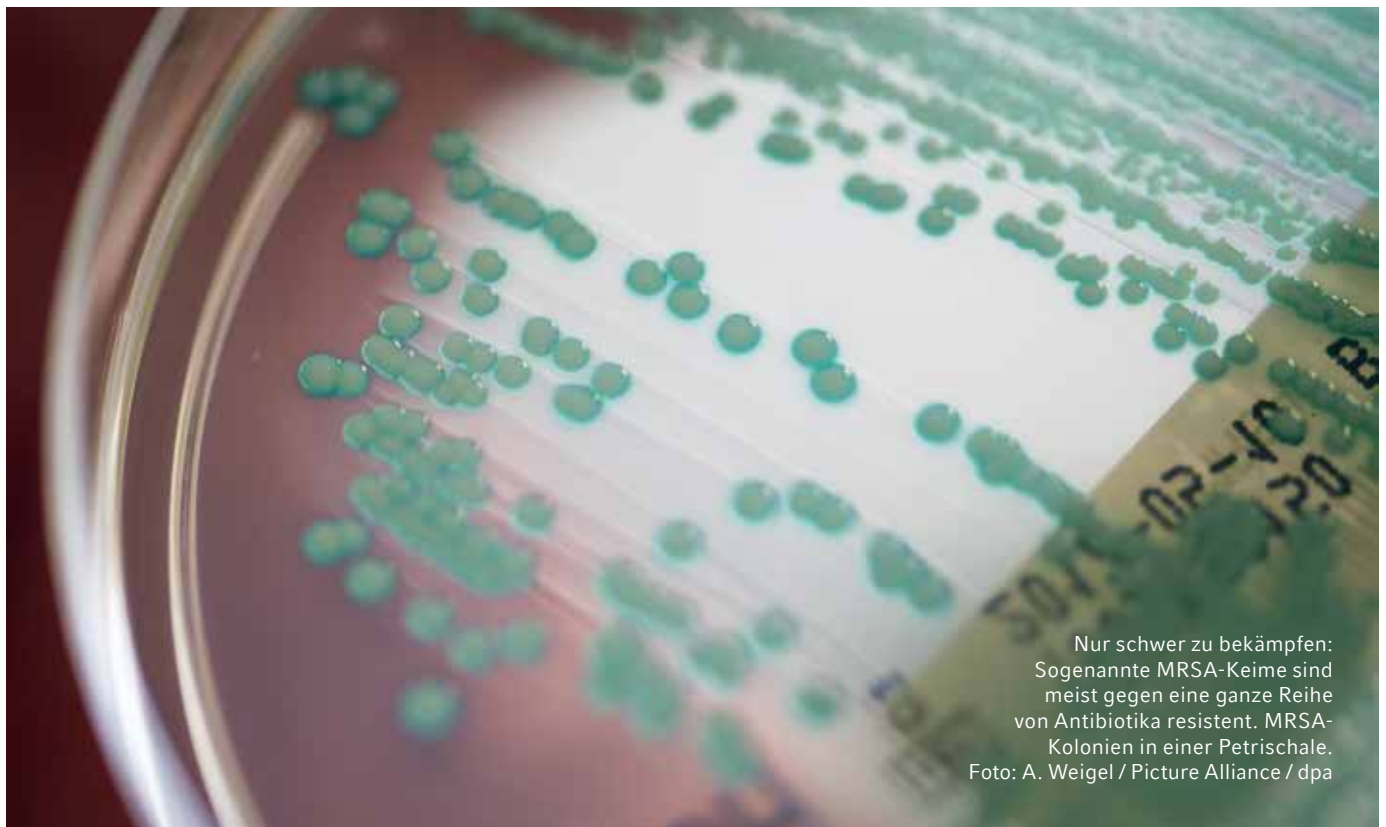


Die Kriege, das Klima, der Rechtsruck, die Migration – ohne Zweifel alles bedrängend und bedrohlich. Was können wir also dagegen tun? Schon das hält Armin Nassehi für die falsche Frage, denn darin zeige sich die „große Geste“, die gerne die Gesellschaft, besser noch die Menschheit zum Kollektivsubjekt macht, das sich ja dann doch, bitte sehr und bitte rasch, auf die Bewältigung der Krise verständigen müsse.

Das kann nicht gehen, warnt der Soziologe und erklärt, wie man „anders über gesellschaftliche Transformation nachdenken“ könne. Ihn beschäftigt dabei nicht, nach welchem Programm sich eine Krise am besten entschärfen ließe. Ihn interessiert, „wie das Betriebssystem funktioniert, auf dem diese Programme laufen“, nach welchen Mustern also eine moderne Gesellschaft auf Krisen reagiert. Er zeichnet die Interessenkonflikte und Erkenntnisdefizite, die Gewöhnungseffekte, Routinen und Trägheitsmomente nach, die verhindern, dass aus einer komplexen Gesellschaft ein geeintes Wir wird. Er plädiert für die oft „belächelten“ kleinen Schritte. Sie seien „keine Schrumpfform“, sondern böten die Chance, gesellschaftliche Transformation „evolutiv“ abzusichern. (math)

Armin Nassehi: Kritik der großen Geste. Anders über gesellschaftliche Transformation nachdenken. Verlag C.H. Beck, München 2024, 224 Seiten, 18 Euro





Nur schwer zu bekämpfen:  
Sogenannte MRSA-Keime sind  
meist gegen eine ganze Reihe  
von Antibiotika resistent. MRSA-  
Kolonien in einer Petrischale.  
Foto: A. Weigel / Picture Alliance / dpa

## Die Zukunftsfrage

# Helfen uns bald keine Antibiotika mehr?

**Johannes Hübner**, Professor und Leiter der Abteilung Pädiatrische Infektiologie; Kinderklinik und Kinderpoliklinik im Dr. von Haunerschen Kinderspital des LMU Klinikums: „Infektionen durch resistente Erreger verursachen weltweit fast fünf Millionen Todesfälle jährlich, wahrscheinlich rund 1,3 Millionen davon sind direkt auf die antimikrobiellen Resistenzen zurückzuführen. Im Jahr 2019 wurden in Deutschland 45.700 Todesfälle durch resistente Bakterien registriert, 9.650 dieser Todesfälle waren direkt mit Antibiotika-Resistenzen assoziiert. Ein post-antibiotisches Zeitalter, in dem häufige Infektionen und banale Verletzungen zum Tode führen können, ist keine apokalyptische Fantasie, weshalb die WHO antimikrobielle Resistenzen (AMR) als eine der zehn größten aktuellen globalen Gesundheitsgefahren der nächsten Dekade betrachtet. Besonders betroffen sind

kleine Kinder: Ein Fünftel der Todesfälle durch Resistenzen betrifft Kinder im Alter unter fünf Jahren, wobei gerade Kinder besonders häufig mit Antibiotika behandelt werden. Jedem zweiten Kind im Alter von drei bis sechs Jahren wird jährlich mindestens einmal ein Antibiotikum verschrieben, während nur jeder dritte Erwachsene einmal pro Jahr antibiotisch behandelt wird. Dieser häufige und oft unkritische Einsatz von Antibiotika ist hauptsächlich für die rapide Zunahme resistenter Erreger verantwortlich. Zur Eindämmung dieser Resistenzentwicklung ist ein umsichtiger Einsatz von Antibiotika essenziell. Hierbei sind Expertisen aus der Infektiologie und die Umsetzung von Antibiotic Stewardship (ABS)-Programmen entscheidend, um den rationalen Einsatz antimikrobieller Substanzen zu fördern und damit weitere Resistenzentwicklungen zu verhindern.“

**Lesen Sie in der nächsten Ausgabe online ein ausführliches Gespräch zur Bekämpfung resistenter Erreger.**

## Impressum

### Herausgeber

Präsidium der Ludwig-Maximilians-Universität (LMU) München

### Konzept und Redaktion

Kommunikation & Presse LMU  
Claudia Russo (verantwortlich)  
Martin Thureau (Redaktionsleitung)  
Dominic Anders (Redaktion/Online)  
Hubert Filser (freier Redakteur/Online)  
Christine Meyer (freie Grafikerin)

### Autorinnen und Autoren dieser Ausgabe

Dominic Anders, Maximilian Burkhart,  
Janosch Deeg, Hubert Filser (huf),  
Monika Gödde (goed), Bernd Graff, Nina Himmer,  
Stefanie Reinberger, Martin Thureau (math)

### Auflage

6.500 Exemplare

### Erscheinungsweise

halbjährlich

### Druck

Kriechbaumer Druck GmbH & Co. KG, München  
Einsichten. Das Forschungsmagazin wird auf  
Papier aus nachhaltiger Forstwirtschaft gedruckt.

### Distribution

Mathias Schiener

### Redaktionsadresse

Geschwister-Scholl-Platz 1  
80539 München  
Tel.: 089 2180-3808  
E-Mail: Einsichten@lmu.de

### www.lmu.de/einsichten

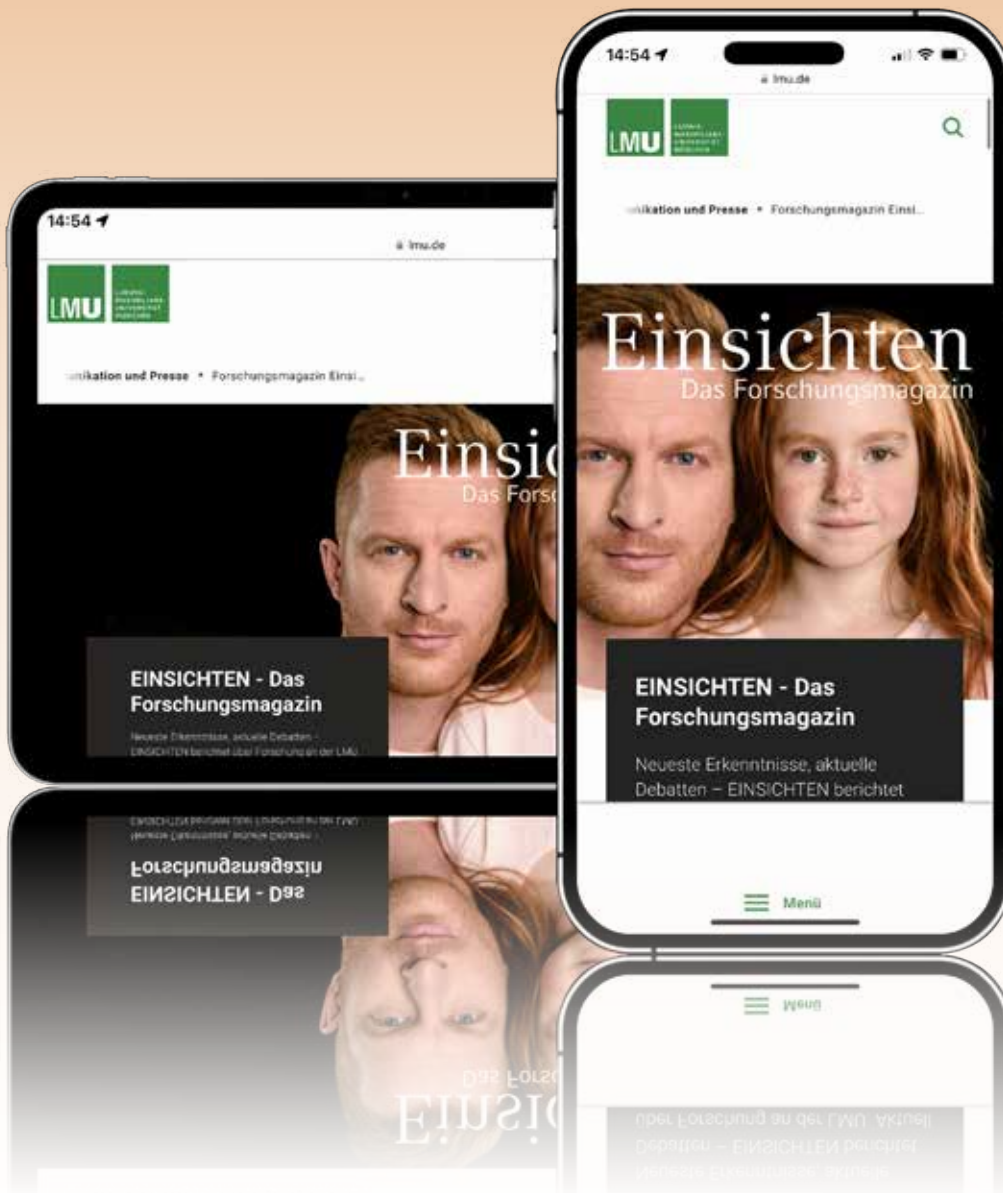
Unter dieser Adresse finden Sie  
die Online-Ausgabe von  
Einsichten. Das Forschungsmagazin.



LUDWIG-  
MAXIMILIANS-  
UNIVERSITÄT  
MÜNCHEN

# Wir sehen uns im Netz!

Mehr Einsichten: Lesen Sie aktuelle Geschichten zur Forschung an der LMU.



Verpassen Sie keine  
digitale Ausgabe mehr.  
Registrieren Sie sich  
hier kostenlos.





Einsichten als E-Paper:



Einsichten im Internet: [www.lmu.de/einsichten](http://www.lmu.de/einsichten)