

KURIOSER KRISE

Dem Panamakanal geht das Wasser aus



- » KI-Regulierung: Wie Staaten weltweit KI in Schach halten wollen
- » Klimadebatte: Und zwei Prozent retten doch die Welt
- » Persönlichkeit: Wie Psychopathen Karriere machen
- » Waldschutz-Zertifikate: Die große Kompensationslüge



Daniel Lingenhöhl ist Chefredakteur von Spektrum der Wissenschaft..
E-Mail: lingenhoehl@spektrum.de

Liebe Leserinnen und Leser,

Klima- und Naturschutz sind zu teuer und schaden der Wirtschaft? Bei einer einfachen Rechnung mag das stimmen, auf lange Sicht könnte uns Nichtstun mehr kosten. Das zeigt etwa der Blick nach Südwesten zum Panamakanal, einer der ganz wichtigen Lebensadern der globalen Ökonomie. Die Wasserstraße ist der kürzeste Weg von Europa an die US-Westküste oder von China an die US-Ostküste. Um größeren Containerschiffe diesen Weg zu ermöglichen, wurde sie ausgebaut, benötigt nun aber mehr Wasser zum Schleusen. Gleichzeitig verringerten Abholzung und nun eine schwere Dürre in Zentralamerika die nötige Wasserversorgung in den Speicherseen des Kanals. Die Folge: weniger Schiffe mit weniger Fracht dürfen passieren – mit entsprechenden Kosten für Reedereien und Verbraucher.

Einen interessanten Lesegenuss wünscht

A handwritten signature in black ink, appearing to read "Daniel Lingenhöhl".



JDROSS75 / STOCK.ADOBE.COM

THEMEN

- Kuriose Krise**
- KI-Regulierung**
- Klimadebatte**
- Persönlichkeit**

NEWS

- Hirnparasit**
- Bekanntschaften**
- Waldschutz-Zertifikate**
- Biodiversität**
- Meeresströmungen**
- Materialwissenschaft**

RUBRIKEN

- Bild der Woche**
- Rezension**

Die fabelhafte Welt der Mathematik

- 25** Dem Panamakanal geht das Wasser aus
- 31** Wie Staaten weltweit KI in Schach halten wollen
- 46** Und zwei Prozent retten doch die Welt
- 55** Wie Psychopathen Karriere machen

- 07** Wie kam der Wurm ins Gehirn einer Australierin?
- 10** Das Handy ist ein Handicap
- 13** Die große Kompensationslüge
- 16** Mit Wattestäbchen Wildtieren auf der Spur
- 19** Führen Seepocken endlich zu Flug MH370?
- 22** Hinter der Härte von Glas steckt ein verborgener Phasenübergang

- 04** Kriegsbeute der Azteken entdeckt
- 63** »Der elektronische Spiegel« von Manuela Lenzen
- 66** Das Ziegenproblem: Sollte man sich umentscheiden?

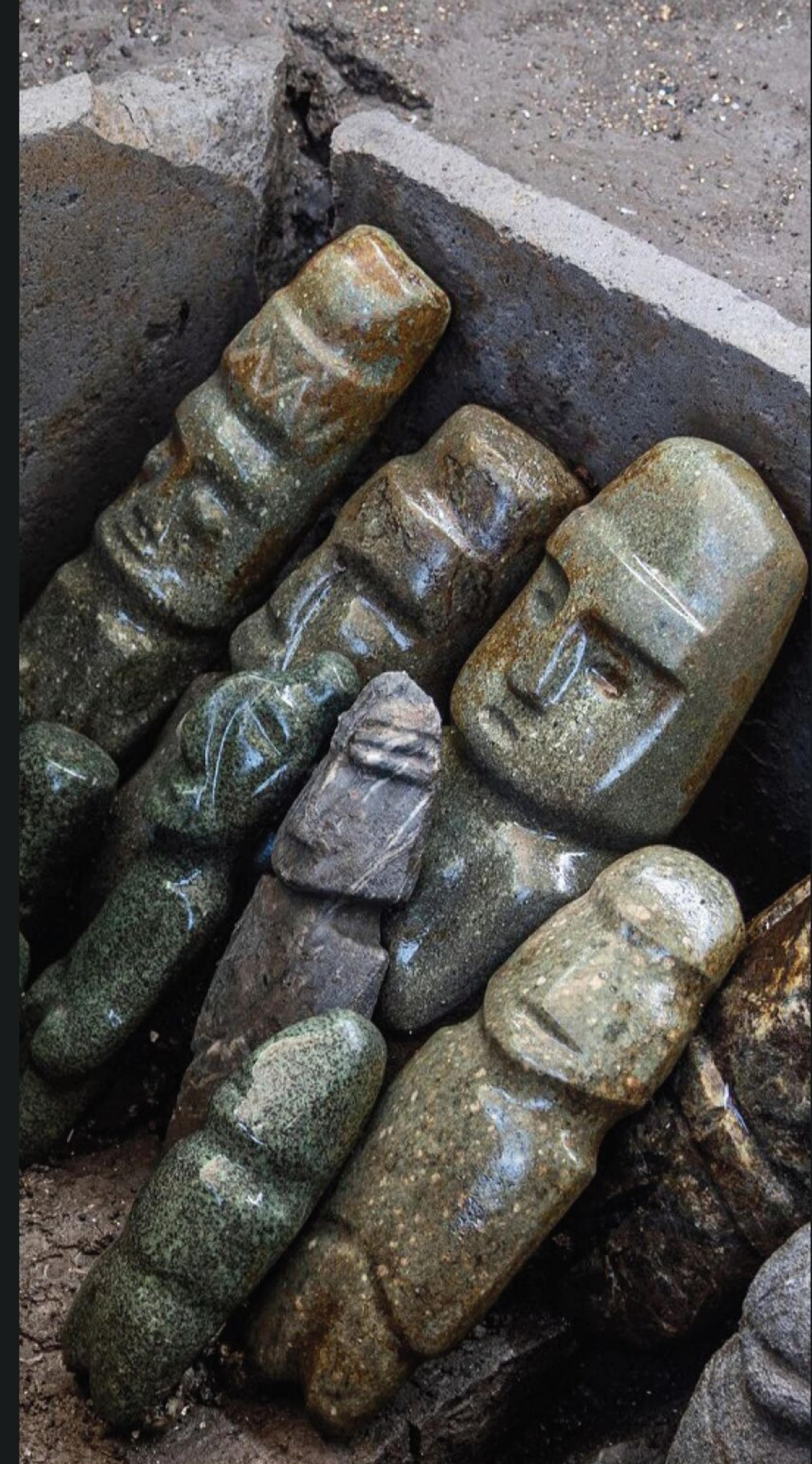


Kriegsbeute der Azteken entdeckt

Das Allerheiligste der Azteken lag auf einer Insel im Texcoco-See. Dort, inmitten ihrer Hauptstadt Tenochtitlán, hatten die Azteken Tempel errichtet, darunter ihr wichtigstes Heiligtum für den Kriegsgott Huitzilopochtli und den Regengott Tlaloc. Und dort wollten die Azteken, die sich selbst Mexica nannten, sichergehen, dass ihnen diese Gottheiten gewogen blieben. Dazu ließen sie im Umfeld der Tempelpyramide Gaben an die Götter vergraben.

Heute erhebt sich über den Überresten des so genannten Templo Mayor die Hauptstadt Mexikos – und inzwischen holen Archäologen die jahrhundertealten Opferkisten aus dem Boden. So fanden Fachleute um Leonardo López Luján vom mexikanischen Instituto Nacional de Antropología e Historia (INAH) eine solche Grube mit zahlreichen Weihegaben, die darin seit ungefähr 550 Jahren unversehrt lagen. Es handelte sich um 15 Steinfiguren – die größte davon rund 30 Zentimeter lang –, zwei Ohrringe in Schlangenform, 137 Perlen aus grünem Gestein sowie fast 2000 Muschelschalen, Schneckenhäuser und Korallen.

Die Skulpturen identifizieren die Ausgräber als Bildnisse von Männern, nur eine, die kleinste mit zirka drei Zentimeter Länge, stelle eine Frau dar. Aus der Machart der Figuren schließen die Experten, dass sie aus der



MIRSA ISLAS, CORTESIA DEL PROYECTO TEMPLO MAYOR / INAH / DPA / PICTURE ALLIANCE

VON KARIN SCHLOTT

Mezcala-Kultur stammen, die im heutigen Bundesstaat Guerrero beheimatet war – südlich von Mexiko-Stadt. Aus Textquellen ist bekannt, dass der Aztekenfürst Moctezuma I., der von 1440 bis 1469 in Tenochtitlán herrschte, Regionen und Völker in Guerrero erobert hatte. Allerdings würden die Figuren aus der Opferkiste, so erklären die Archäologen des INAH, stilistisch viel älter aussehen. Die Experten um López Luján ordnen sie einem Zeitraum zu, der von der Präklassik bis in die Spätklassik der mesoamerikanischen Kulturen reicht – also in eine Zeit von ungefähr 1200 v. Chr. bis 900 n. Chr.

»Das bedeutet, dass, als die Mexica diese Völker unterwarfen, die Figuren bereits wahrhaftige Relikte waren, einige von ihnen mehr als 1000 Jahre alt«, erklärt López Luján laut einer Pressemitteilung des INAH. »Vermutlich dienten sie [den Mexica] als Kultstatuetten, die sie sich als Kriegsbeute angeeignet hatten.« Die Azteken hatten die Kultfiguren auch bemalt –

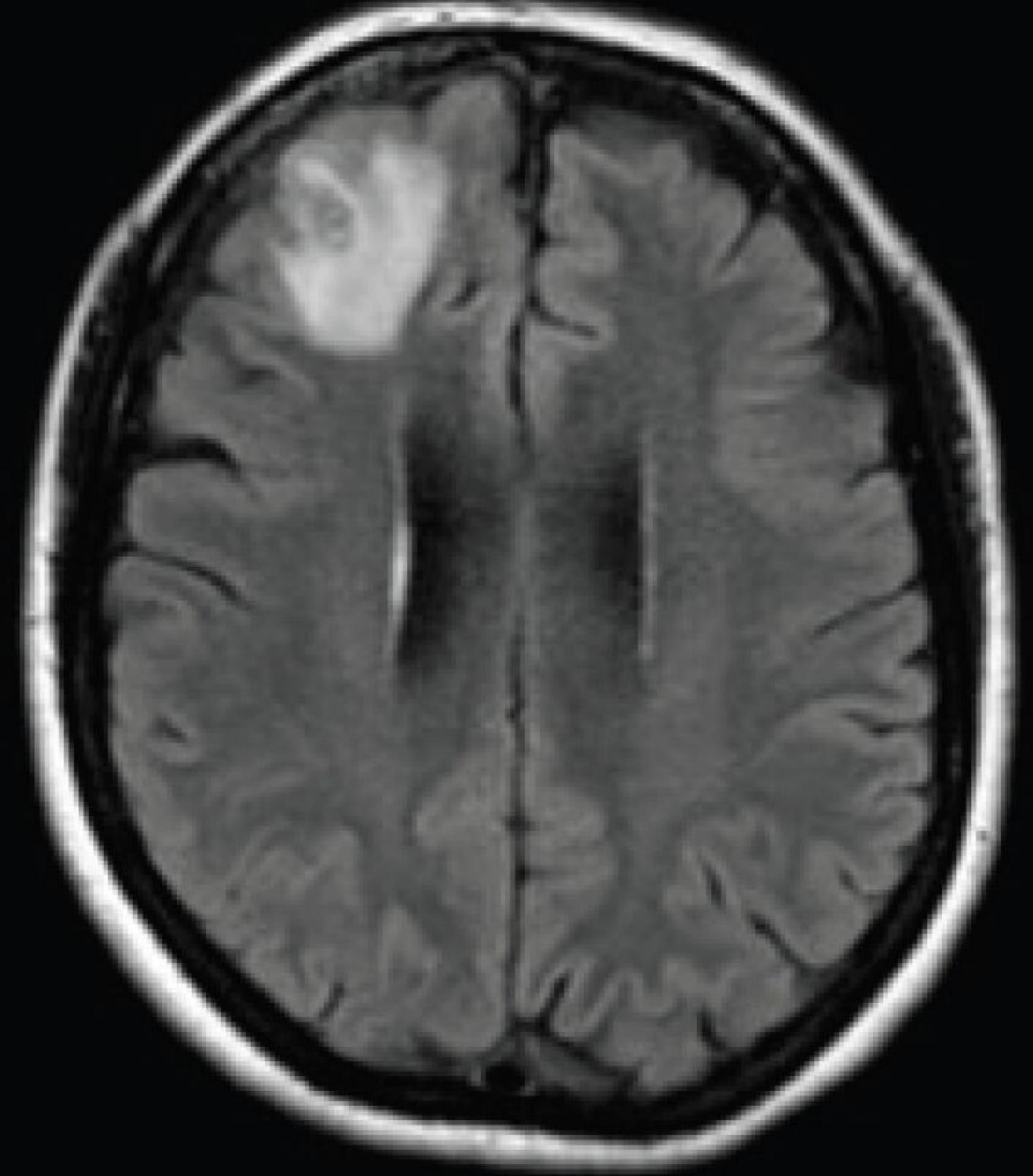
womöglich um diese auf ihren Gott Tlaloc umzuwidmen, wie das Archäologenteam annimmt.

An der Fundstelle, in der rückwärtigen Plattform des Templo Mayor, kamen zuvor schon vergleichbare Steinkisten zum Vorschein. Die Mexika hatten solche quadratischen Behälter als »tepetlacalli« bezeichnet und in Exemplaren des häuslichen Umfelds wertvolle Gegenstände aufbewahrt. »In Hinsicht auf den Templo Mayor, der einen heiligen Berg voller Güter darstellte, ist es also vorstellbar, dass die Priester in diesen ›Steintruhern‹ die Symbole für Wasser und Fruchtbarkeit aufbewahrten: Skulpturen der Regengottheiten, grüne Steinperlen, Muscheln und Schnecken«, sagt López Luján.

Der Templo Mayor wurde samt dem Reich der Azteken zerstört, als die Spanier 1521 nach Tenochtitlán kamen. Diese machten die Stadt dem Erdboden gleich und errichteten auf dem Schutt ihre neue Kapitale von Neuspanien, Mexiko-Stadt. ↵



MIRSA ISLAS, CORTESIA DEL PROYECTO TEMPLO MAYOR / INAH / DPA / PICTURE ALLIANCE



HIRNPARASIT

Wie kam der Wurm ins Gehirn einer Australierin?

Ein Hirnscan zeigt eine entzündete Region durch den Wurm (oben). Unten der Übeltäter *Ophidiascaris robertsi*

HOSSAIN, M. ET AL.: HUMAN NEURAL LARVA MIGRANS CAUSED BY OPHIDASCARIS ROBERTSI ASCARIID. EMERGING INFECTIOUS DISEASES 29, 2023, FIG. 2; BEARBEITUNG: SPEKTRUM DER WISSENSCHAFT

VON LARS FISCHER

Im Gehirn einer Frau fanden Ärzte einen acht Zentimeter langen parasitischen Wurm, der auf Schlangen spezialisiert ist.

Der Fall ist aber weniger ungewöhnlich, als er zunächst erscheint.

Von einer Weltpremiere der etwas anderen Art berichten Ärzte in der australischen Hauptstadt Canberra. Im Juli 2022 entdeckten sie im Gehirn einer Frau den acht Zentimeter langen parasitischen Wurm *Ophidascaris robertsi* – dessen Endwirt normalerweise Pythons sind. Wie ein Team um Sanjaya N. Senanayake von der Australian National University in Canberra berichtet, war die Frau zuvor ein Jahr lang wegen rätselhafter Symptome behandelt worden. Nachdem sie neurologische Probleme entwickelte, entdeckten die Ärzte den Wurm in ihrem Gehirn und entfernten ihn. Es ist nach Angaben der Fachleute der erste bekannte Fall einer Infektion mit diesem für Schlangen typischen Spulwurm bei Menschen.

Tatsächlich allerdings ist *Ophidascaris robertsi* nicht ausschließlich auf Schlangen beschränkt. Was die Mediziner im Kopf der 64-jährigen Patientin fanden, war das dritte Larvenstadium (L₃) des Wurms, und das befällt normalerweise Säugetiere. Der Spulwurm hat nämlich einen indirekten Lebenszyklus, das heißt, er benötigt für seine Entwicklung mehr als eine Wirtsspezies. Die Eier, ausgeschieden vom erwachsenen Wurm, verteilen sich mit dem Kot der Schlange in der Landschaft. Kleine Beuteltiere, Nagetiere oder gar Koalas nehmen die Eier auf, die L₃-Larven entwickeln sich.

Erst wenn ein Python den Zwischenwirt frisst, gelangt der Parasit in die Schlange, entwickelt sich zum erwach-

senen Tier und beginnt Eier zu legen. Im Kopf der Frau befand sich also kein Schlangenparasit auf Abwegen, sondern eine auf Säugetiere spezialisierte Larve. Vermutlich habe sich die Frau mit den Eiern infiziert, als sie Neuseeländischen Spinat verzehrte – ein dort wild wachsendes Gemüse –, schreiben die Fachleute in ihrem Fallbericht in der Fachzeitschrift »Emerging Infectious Diseases«. Im Januar kam sie dann wegen Bauchschmerzen und Durchfall ins Krankenhaus, später entwickelte sie außerdem Husten. Untersuchungen zeigten Schäden in Lunge und Leber sowie eine große Zahl von Immunzellen im Lungengewebe – beides vermutlich hervorgerufen von den durch den Körper wandernden Wurmlarven.

Parasitische Würmer dringen immer mal wieder ins Gehirn ein

Anfang 2022 begannen die neurologischen Probleme, drei Monate lang klagte die Frau über Gedächtnisstörungen und Depressionen. Schließlich entdeckten die Ärzte bei einem Hirnscan einen etwa anderthalb mal einen Zentimeter großen auffälligen Bereich hinter der Stirn. Bei einer Biopsie entdeckten sie dort ein »fadenartiges Objekt«, das sich als acht Zentimeter langer, blassroter Wurm entpuppte. Nachdem dieser entfernt war und die Patientin Medikamente gegen eventuelle weitere Larven erhalten hatte, verschwanden die Symptome.

Das ist keineswegs so ungewöhnlich, wie es auf den ersten Blick klingen mag. Ähnliche Symptome, Larva migrans genannt, kennt man auch vom Menschen befallenden Spulwurm, mit dem etwa ein Fünftel der Weltbevölkerung infiziert ist. Und immer wieder fangen sich Menschen verwandte Parasiten von Tieren ein, denn die Würmer sind bei ihren Wirten oft flexibel. Eine große Bandbreite parasitischer Würmer kann ins Zentralnervensystem

von Menschen eindringen und neurologische Symptome auslösen. So zum Beispiel der auch in Deutschland verbreitete Waschbärspulwurm *Baylisascaris procyonis*, der manchmal eine sehr schwere oder sogar tödliche Hirnhautentzündung auslöst.

Während also der Python-Spulwurm im Gehirn der australischen Frau ein ungewöhnlicher Fall ist, ist er keineswegs so exotisch, wie es auf den ersten Blick scheinen mag. Auch *Ophidascaris robertsi* befällt eine große Bandbreite von Säugetieren. Bisher hatten Studien gezeigt, dass der Wurm in Tieren von außerhalb Australiens nicht oder nur schlecht gedeiht, deswegen galten Menschen als nicht gefährdet; wie oft allerdings tatsächlich solche Würmer Menschen befallen, ohne entdeckt zu werden, ist unbekannt. Dass der Parasit in Canberra schließlich identifiziert wurde, lag womöglich an der Behandlung selbst: Vermutlich war es die Immununterdrückung, mit der die Ärzte die ursprüngliche Entzündung der Lunge behandelten, durch die der Wurm überhaupt erst ins Gehirn vordringen konnte. ↵

NEUE ALTE SEUCHEN



Infektionskrankheiten jenseits von Covid

Historische Plagen | Wie Keime die Welt formten

Polio | Der steinige Weg zur Ausrottung
HIV, Masern, Cholera | Im Windschatten der Pandemie



BEKANNTSCHAFTEN

Das Handy ist ein Handikap

Wer beim Warten aufs Handy guckt, knüpft seltener Kontakt zu den Mitwartenden.

VON CHRISTIANE GELITZ

Das Smartphone stört nicht nur im Kreis von Familie und Freunden. Mit dem Handy in der Hand verpassen wir auch eher die Chance, neue Leute kennen zu lernen.

Wenn Studierende ihr Handy bei sich haben, dann lassen sie eher die Gelegenheit verstreichen, Gleichaltrige kennen zu lernen. Zu diesem Schluss kommen Forschende von der University of British Columbia im »Journal of Experimental Social Psychology«. Die Psychologin Elizabeth Dunn und ihre Kollegen ließen Studierende 20 Minuten mit zwei bis drei unbekannten Gleichaltrigen in einem Aufenthaltsraum warten. Zuvor hatten sie die Hälfte der Versuchspersonen unter einem Vorwand gebeten, ihr Smartphone abzugeben. Die Forschenden vermuteten, dass sich die Studierenden anfangs unwohler fühlen würden, wenn sie sich nicht mit ihrem Telefon beschäftigen konnten.

Doch das war nicht der Fall: Die Handys brachten ihren Besitzerinnen und Besitzern auch während der ersten Minuten keinen psychologischen Vorteil. Und im weiteren Verlauf entpuppte sich das Handy sogar als Nachteil. Denn die handyslosen Versuchspersonen knüpften mehr Kontakte zu den unbekannten Mitwartenden, und es ging ihnen insgesamt besser als jenen, die ihr Telefon behalten durften.

Was der Grund dafür sein könnte, hat Elizabeth Dunn bereits mit einem weiteren Team entdeckt. Einander unbekannte Menschen, die zusammen in einem Raum warten, lächeln weniger, wenn sie ihr Handy bei sich haben. Ein so genanntes »echtes Lächeln« mit

Lachfältchen um die Augen zeigten sie sogar um 30 Prozent seltener.

Auch im Beisein von Familie und Freunden erweisen sich Smartphones als Handikap, wie Dunn und Kollegen schon 2018 in einem Feldexperiment beobachteten. Sie hatten einen Teil ihrer Versuchspersonen gebeten, während eines Restaurantbesuchs mit Freunden oder Familie das eigene Handy auf dem Tisch liegen zu lassen. Die übrigen sollten es weglegen. Wer sein Handy auf dem Tisch sah, fühlte sich stärker abgelenkt und genoss es weniger, Zeit mit Freunden oder Familie zu verbringen. »Handys sind in der Lage, uns mit anderen überall auf der Welt zu verbinden, aber sie stören die Kontakte zu denen,

die gerade am gleichen Tisch sitzen», schreiben Dunn und ihr Team.

Fast 90 Prozent der Smartphone-Besitzer geben an, während ihrer letzten sozialen Interaktion aufs Handy geguckt zu haben. Dabei empfinden die meisten das im umgekehrten Fall zwar als störend, wie Experimente zeigen – ihnen ist aber nicht bewusst, wie ihr eigener Handgebrauch auf das Gegenüber wirkt. Sie überschätzen ihre Fähigkeit zum Multitasking und haben außerdem eine gute Erklärung parat, warum sie gerade aufs Handy gucken müssen. ↵



**Spektrum
PSYCHOLOGIE**
Das Magazin für
den modernen,
selbstbestimmten
Menschen

Spektrum PSYCHOLOGIE bringt Ihnen ab sofort alle zwei Monate tiefere Einsichten in das menschliche Miteinander, mehr Orientierung in aktuellen gesellschaftlichen Fragen sowie positive Impulse für Ihr eigenes Leben: **kompakt und informativ**.

JETZT BESTELLEN!



WALDSCHUTZ-ZERTIFIKATE

Die große Kompen-sationslüge

Selbst wenn gerodete Flächen wieder aufgeforstet werden sollten: Oft gehen Setzlinge in großer Zahl wieder ein, so dass die versprochene Kohlendioxidaufnahme gar nicht stattfindet. Zudem dauert es viele Jahrzehnte, bis die Bäume ihr Speicherpotenzial voll ausbilden.

VON ANNETTE DOERFEL

Erneut fallen Kohlenstoffdioxid-Zertifikate beim genauen Hinsehen durch. 26 untersuchte Kompensationsprojekte verhindern entweder keine Emissionen oder viel weniger als angegeben.

Viele große Firmen schreiben sich das Label »klimaneutral« auf ihre Fahne – und wiegen die Kundinnen und Kunden in dem Glauben, dass sie mit dem Kauf der Produkte der Umwelt etwas Gutes tun. Die Idee dahinter: Unweigerlich anfallende Treibhausgasemissionen werden mit Umweltprojekten kompensiert. Diese Maßnahmen sollen beispielsweise gezielt tropische Regenwälder vor der drohenden Abholzung schützen, trockengelegte Moore wieder vernässen oder große Areale wieder aufforsten. Doch offenbar klingt das zu schön, um wahr zu sein. Schon im Mai 2023 hatte eine größere Recherche aufgedeckt, dass die meisten CO₂-Zertifikate nichts als eine große Werbenummer sind.

Zum gleichen Schluss kommt nun eine Analyse von Waldschutzprojekten aus sechs südamerikanischen und afrikanischen Ländern, die von dem US-amerikanischen Unternehmen Verra zertifiziert sind. Für die in »Science« erschienene Studie wurden 26 so genannte REDD+-Programme (Reduced Emissions from Deforestation and Forest Degradation) von den Autorinnen und Autoren untersucht. Das ernüchternde Ergebnis: Nur etwa sechs Prozent der CO₂-Zertifikate aus den untersuchten Projekten sind tatsächlich mit vermiedenen Emissionen verknüpft. Die meisten verhindern keine oder viel weniger Emissionen als angegeben. Darüber hinaus zeigen die Autoren, dass 18 REDD+-Projekte rund 62 Millio-

nen Gutschriften für den Kohlenstoffausgleich generiert haben. Etwa 14,6 Millionen davon wurden bereits von Unternehmen auf der ganzen Welt zum Ausgleich ihrer Kohlenstoffemissionen verwendet. Den Schätzungen der Studie zufolge wurde mit diesen Projekten fast dreimal so viel Kohlenstoff kompensiert, wie sie tatsächlich zum Klimaschutz beigetragen haben. Weitere 47,7 Millionen Gutschriften sind noch auf dem Markt verfügbar. »Die Projekte sind ineffektiv für den Klimaschutz, aber ökonomisch effektiv für die Betreiber«, fasst Michael Köhl vom Institut für Holzwissenschaften der Universität Hamburg die Ergebnisse gegenüber dem Science Media Center (SMC) zusammen.

Zertifizierer wie Verra, die etwa drei Viertel aller Emissionen auf dem freiwilligen, nicht staatlichen Kompensationsmarkt bewerten, berechnen die Einsparungen, indem sie beispielsweise Abholzungstrends größerer Waldflächen in die Zukunft fortschreiben und so bestimmen, wie viel der Schutz einer Teilfläche bringt. Doch manche Kritiker bemängeln, dass es fast unmöglich ist, zu ermitteln, wie viele Emissionen ein Waldschutzprojekt tatsächlich einsparen wird, da nie sicher ist, was ohne das Projekt geschehen wäre. Ein weiteres Problem: Die Berechnungen sind für zehn Jahre festgelegt, auch wenn sich die Umstände ändern. Zudem würden oft Flächen gewählt, die ohnehin einfach zu schützen sind.

Gegenüber dem SMC stellt Jonas Hein vom German Institute of Development and Sustainability (IDOS) generell CO₂-Kompensation durch Waldschutz in Frage. So würden Kohlenstoffmärkte auf der Annahme basieren, dass CO₂ – ganz egal ob aus einem Kohlekraftwerk oder aus einem verbrannten Baum – eine gleichför-

mige Ware darstellt und somit der Schutz von Wäldern die fossilen Emissionen eines Kraftwerks neutralisieren kann. »Hier werden aus meiner Sicht jedoch Äpfel mit Birnen verglichen. Die Emissionen eines Kohlekraftwerks entstammen aus der Verbrennung von Millionen Jahre alter, hochkonzentrierter und fest gebundener Biomasse. Diese Emissionen würden ohne den Menschen nicht in die Atmosphäre gelangen«, sagt er. Wälder hingegen würden CO₂ zunächst für deutlich kürzere Zeiträume binden und Emissionen können zum Beispiel durch politische Entscheidungen – wie die Umwandlung in Plantagen – oder Feuer unmittelbar in die Atmosphäre gelangen. »Waldschutzprojekte wären klimapolitisch vor allem dann effektiv, wenn sie auf Flächen umgesetzt würden, die tatsächlich unmittelbar vor der Entwaldung stehen, zum Beispiel in eine Plantage umgewandelt werden sollen.« Hier bestünden jedoch zwei Probleme: Erstens würden Flächen deswegen zu Plantagen umgewandelt, weil es eine steigende Nachfrage beispiels-

weise nach Palmöl gibt. Zweitens sind die Opportunitätskosten genau deswegen auf diesen Flächen besonders hoch.

Sind die Waldschutz-Zertifikate also generell gescheitert? »Es gibt eine Reihe unabhängiger akkreditierter Organisationen, die Zertifikate ausstellen«, sagt Sven Günter vom Institut für Waldwirtschaft des Johann Heinrich von Thünen-Instituts gegenüber dem SMC. Diese wären allerdings ebenfalls keine Gewähr für Erfolg, sondern lediglich eine bescheinigte Experteneinschätzung für wahrscheinlichen Erfolg. »Überspitzt formuliert sind Zertifikate im Waldbereich Wetten in die Zukunft – sowohl hinsichtlich vermiedener Entwaldung als auch hinsichtlich Aufforstung. Diese Wetten haben sehr unterschiedliche Gewinnchancen«, so der Experte. ↗



BIODIVERSITÄT

Mit Watte- stäbchen Wildtieren auf der Spur

Eines der über die Blattproben nachgewiesenen Tiere im Kibale Forest National Park in Uganda: eine Östliche Vollbartmeerkatze.

VON ANNETTE DOERFEL

Durch einfaches Abtupfen von Blättern konnten Forschende unzählige Tierarten in einem Regenwald Ugandas aufspüren. Könnte man so die Biodiversität in unwegsamen Gebieten ermitteln?

Kleinste DNA-Mengen in der Luft reichen aus, um die Artenzusammensetzung in einem Gebiet zu ermitteln – diese Entdeckung hatte die Molekularökologin Christina Lynggaard von der Universität Kopenhagen erst im vergangenen Jahr veröffentlicht. Das brachte sie und ihr Forscherteam auf die Idee, dass es womöglich noch eine einfache Methode geben könnte, die Biodiversität zu ermitteln: »Wenn tierische DNA in der Luft um uns herum ist, setzt sie sich vielleicht ab und bleibt an klebrigen Oberflächen wie Blättern haften«, sagt Jan Gogarten, der mit Christina Lynggaard am Helmholz-Institut für One Health in Greifswald arbeitet. Ließe sich so die Biodiver-

sität auch in Arealen ermitteln, in denen Tiere schwer zu beobachten sind?

Um dies zu prüfen, begab sich das Forschungsteam in einen dichten tropischen Regenwald in Uganda und tupfte mit insgesamt 24 Wattestäbchen jeweils drei Minuten lang Blätter ab. »Ehrlich gesagt haben wir keine großartigen Ergebnisse erwartet«, erklärt Christina Lynggaard. »Der Regenwald ist heiß und feucht, und unter diesen Bedingungen wird DNA schnell abgebaut.« Daher waren die Forschenden positiv überrascht, als sie die Ergebnisse der DNA-Sequenzierung in den Händen hielten. »Wir fanden DNA von einer überwältigenden Vielfalt an Tieren in diesen 24 Watte-

stäbchen. Mehr als 50 Arten von Säugetieren und Vögeln sowie einen Frosch. Und das alles nach nur 72 Minuten Blätter-Tupfen«, sagt Jan Gogarten.

In jedem der Wattestäbchen fanden die Forscherinnen und Forscher die DNA von durchschnittlich etwa acht Tierarten. Das Spektrum reichte von sehr großen, bedrohten Afrikanischen Elefanten bis zu einer sehr kleinen Sonnenvogel-Art. Außerdem konnten sie einen Hammerkopf, einen Flughund mit einer Flügelspannweite von bis zu einem Meter, Affen wie die seltene Östliche Vollbartmeerkatze und den gefährdeten Uganda-Stummelaffen sowie ein Nagetier, das Ölpalmenhörnchen, nachweisen. Auch Vögel wie

Impressum

der Riesenturako und der vom Aussterben bedrohte Graupapagei wurden gefunden. Ihre Ergebnisse haben die Autoren in »Current Biology« veröffentlicht.

»Die Vielzahl der nachgewiesenen Tierarten und die hohe Nachweisquote pro Wattestäbchen zeigen, dass tierische DNA problemlos von Blättern abgetupft und anschließend analysiert werden kann«, sagt Jan Gogarten. »Diese Methode könnte in größerem Maßstab als Informationsgrundlage dienen, um Biodiversität sowie ihre Verluste zu erfassen und daraus Strategien für das Wildtiermanagement abzuleiten.«

Weltweit sind Tiere durch menschliche Aktivitäten ernsthaft bedroht, wobei der Verlust der biologischen Vielfalt in den Tropen besonders dramatisch ist. Der Artenverlust hat weit reichende Folgen für die grundlegenden Leistungen

und Funktionen dieser Ökosysteme, einschließlich Pflanzenbestäubung und Verbreitung von Samen. Die Überwachung von Tierpopulationen ist daher von entscheidender Bedeutung, um das Ausmaß der Veränderung in Ökosystemen zu verstehen und die Entwicklung wirksamer Managementstrategien zu unterstützen. Die Forschenden sehen aber auch eine Möglichkeit, mit ihrer Methode künftig das Risiko von Krankheitsübertragungen in diesen Gebieten zu überwachen. So könnten Gebiete überprüft werden, in denen Kontakte zwischen bestimmten Wildtieren und Menschen wahrscheinlich sind. ↗

CHEFREDAKTEUR: Dr. Daniel Lingenhöhl (v.i.S.d.P.)

REDAKTION: Annette Doerfel, Jan Dönges, Lars Fischer, Christiane Gelitz, Katharina Menne, Daniela Mocker, Dr. Karin Schlott

CREATIVE DIRECTOR: Marc Grove

LAYOUT: Oliver Gabriel, Anke Heinzelmann, Marina Männle

SCHLUSSREDAKTION: Christina Meyberg (Ltg.), Sigrid Spies, Katharina Werle

BILDREDAKTION: Alice Krüßmann (Ltg.), Anke Lingg, Gabriela Rabe

VERLAG: Spektrum der Wissenschaft Verlagsgesellschaft mbH, Tiergartenstr. 15-17, 69121 Heidelberg, Tel.: 06221 9126-600, Fax: 06221 9126-751; Amtsgericht Mannheim, HRB 338114, UStd-Id-Nr. DE229038528

GESCHÄFTSLEITUNG: Markus Bossle

ASSISTENZ GESCHÄFTSLEITUNG: Stefanie Lacher

MARKETING UND VERTRIEB: Annette Baumbusch (Ltg.), Michaela Knappe (Digital)

LESER- UND BESTELLSERVICE: Helga Emmerich, Sabine Häusser, Estefanny Espinosa de Rojas, Tel.: 06221 9126-743, E-Mail: service@spektrum.de

BEZUGSPREISE: Einzelausgabe € 1,99.

IM ABBONNEMENT JÄHRLICH: € 48,00; ermäßigt € 36,00. Alle Preise verstehen sich inkl. Umsatzsteuer.

ANZEIGEN: Wenn Sie an Anzeigen in »Spektrum – Die Woche« interessiert sind, schreiben Sie bitte eine Mail an anzeigen@spektrum.de

Sämtliche Nutzungsrechte an dem vorliegenden Werk liegen bei der Spektrum der Wissenschaft Verlagsgesellschaft mbH. Jegliche Nutzung des Werks, insbesondere die Vervielfältigung, Verbreitung, öffentliche Wiedergabe oder öffentliche Zugänglichmachung, ist ohne die vorherige schriftliche Einwilligung des Verlags unzulässig. Jegliche unautorisierte Nutzung des Werks berechtigt den Verlag zum Schadensersatz gegen den oder die jeweiligen Nutzer. Bei jeder autorisierten (oder gesetzlich gestatteten) Nutzung des Werks ist die folgende Quellenangabe an branchenüblicher Stelle vorzunehmen:
© 2023 (Autor), Spektrum der Wissenschaft Verlagsgesellschaft mbH, Heidelberg. Jegliche Nutzung ohne die Quellenangabe in der vorstehenden Form berechtigt die Spektrum der Wissenschaft Verlagsgesellschaft mbH zum Schadensersatz gegen den oder die jeweiligen Nutzer. Für unaufgefordert eingesandte Manuskripte und Bücher übernimmt die Redaktion keine Haftung; sie behält sich vor, Leserbriefe zu kürzen.



MEERESSTRÖMUNGEN

Führen Seepocken endlich zu Flug MH370?

Seepocken siedeln sich rasch auf festen Unterlagen im Wasser an – auch Schiffsrümpfe oder Wrackteile sind davon betroffen.

VON DANIEL LINGENHÖHL

Zu den größten Rätseln der Luftfahrt gehört der Verbleib des malaysischen Flugzeugs von MH370, das 2014 verschwand. Geochemie könnte bei der Suche vielleicht helfen.

Am 8. März 2014 verschwand Flug MH370 der Malaysia Airlines vom Radar. Ursprünglich auf dem Weg von Kuala Lumpur nach Peking, änderte die Maschine plötzlich den Kurs und steuerte in Richtung des Indischen Ozeans, wo sie schließlich abstürzte. Es folgte eine der größten Suchaktionen in der Geschichte der Luftfahrt. Doch außer einigen Trümmern, die Wochen und Monate später an verschiedenen Küsten angeschwemmt wurden, fanden sich keine größeren Wrackteile oder gar Überreste der Passagiere. Gregory Herbert von der University of South Florida und sein Team schlagen in »AGU Advances« eine neue Suchstrategie vor: Auf angeschwemmten Flugzeugbruchstücken hatten sich Seepocken angesiedelt, de-

ren Schalen charakteristische geochemische Signaturen aufweisen, je nachdem welches Seegebiet sie durchkreuzt haben. Auf diese Weise ließe sich womöglich ihre Reise rekonstruieren und damit das Suchgebiet eingrenzen.

Ganz besonders weckte das Interesse von Herbert und Co eine Flügelklappe, die ein Jahr nach dem Absturz auf der Insel Réunion im Indischen Ozean angeschwemmt wurde. »Sie war mit Seepocken bedeckt, und als ich das sah, begann ich sofort, E-Mails an die Ermittler zu schicken, weil ich wusste, dass die Geochemie ihrer Schalen Hinweise auf den Absturzort liefern könnte«, so Herbert. Seepocken und andere wirbellose Meerestiere mit Schalen wachsen täglich und bilden dabei innere Schichten ähnlich

wie Baumringe. Die Chemie jeder Schicht wird durch die Temperatur des umgebenden Wassers zu dem Zeitpunkt beeinflusst, an dem die Schicht gebildet wird.

In seiner Studie führte Herberts Team ein Wachstumsexperiment mit lebenden Seepocken durch, um deren Chemismus zu analysieren. Dadurch konnte es zum ersten Mal Temperaturen aus den Schalen der Krebstiere ableiten. Diese Methode wandten die Forscher dann auf die Schalen von Seepocken an, die sich auf dem Wrackteil befanden und für Forschungszwecke aufbewahrt wurden. Die ermittelten Temperaturwerte speisten sie dann in ein Computermodell ein, mit dem der zurückgelegte Weg der Flügelklappe zumindest zu einem Teil erfolgreich rekonstruiert werden konnte.

»Leider stehen die größten und ältesten Seepocken des Wracks noch nicht für die Forschung zur Verfügung. Aber mit dieser Studie haben wir bewiesen, dass diese Methode auf Seepocken angewandt werden könnte, die sich kurz nach dem Absturz auf den Trümmern angesiedelt haben. Dadurch ließe sich dann vielleicht ein vollständiger Driftpfad zurück zum Absturzort rekonstruieren«, sagt Herbert.

Bislang erstreckte sich die Suche nach MH370 über mehrere tausend Kilometer entlang eines Nord-Süd-Korridors, der als »Siebter Bogen« bezeichnet wird und auf dem das Flugzeug nach Ansicht der Ermittler aufgeschlagen sein könnte, nachdem ihm der Treibstoff ausgegangen war. Da sich die Meerestemperatur entlang des Bogens schnell ändert, könnte diese Methode laut Herbert zeigen, wo genau sich das Flugzeug befindet. »Der französische Wissenschaftler Joseph Poupin, der als einer der ersten Biologen die Flügelklappe untersuchte, kam zu dem Schluss, dass die größten Seepocken

sich möglicherweise schon kurz nach dem Absturz auf dem Wrack ansiedelten – und zwar ganz in der Nähe der Absturzstelle, wo das Flugzeug jetzt liegt«, so Herbert. Das Suchgebiet ließe sich dadurch womöglich eingrenzen und eine neue Mission zum Aufspüren des Wracks erleichtern.

Drei Jahre nach dem Absturz wurde die groß angelegte Suche nach MH370 eingestellt. Bis dahin fanden sich bis auf die wenigen angeschwemmten Trümmer keine weiteren Hinweise auf das Schicksal des Flugzeugs. Die Meeresforschung hat davon allerdings stark profitiert. Gewonnen wurden etwa zahlreiche Daten zur Beschaffenheit des Meeresbodens in der Region. Zudem konnten manche Schiffsunglücke aufgeklärt werden. ↗

The cover of the magazine features a photograph of a sailboat on the water at sunset, with a pink and orange sky. The title 'NORD- & OSTSEE' is prominently displayed in large, light-colored letters across the center. Below it, the subtitle 'Am Rand des Atlantiks' is written. In the bottom right corner, there is a circular badge with the text 'FÜR NUR € 4,99'. At the very bottom, there is a dark bar with the text 'HIER DOWNLOADEN' in white.

UNSPASH / ANDREAS KRETSCHMER

Ostsee | Rummel am Riff
Rätsel der Vergangenheit | Der Untergang von Doggerland
Ebbe und Flut | Minivulkane am Strand

FÜR NUR
€ 4,99

HIER DOWNLOADEN



MATERIALWISSENSCHAFT

Hinter der Härte von Glas steckt ein verborgener Phasen-übergang

VPANTEON / GETTY IMAGES / ISTOCK

Glas verhält sich wie ein Festkörper, ähnelt auf molekularer Ebene aber eher einer Flüssigkeit.

VON TATJANA GOBOLD

Manche harten Materialien sind aus molekularer Sicht eigentlich flüssig. Bei der Suche nach den Ursachen stieß ein Forschungsteam bei unterkühlten Flüssigkeiten auf einen bislang unentdeckten Übergang zwischen zwei grundverschiedenen Zuständen.

Die starre Erscheinung von Glas täuscht, denn eigentlich ist es ein so genanntes amorphes Material. Seine Atome und Moleküle liegen nicht in geordneten Strukturen vor wie bei normalen Festkörpern, sondern sie bilden ein Durcheinander, das dem in einer Flüssigkeit sehr ähnelt. Nun haben die theoretischen Chemiker Dimitrios Fraggedakis, Muhammad R. Hasyim und Kranthi K. Mandadapu von der University of California in Berkeley ein mikroskopisches Modell erstellt, das erklärt, warum und ab wann sich Materialien glasartig verhalten. Womöglich spielt dabei sogar ein neu entdeckter Phasenübergang eine Rolle.

Amorphe Strukturen kann man als unterkühlte Flüssigkeiten auffassen, die einfach nur sehr langsam fließen. Unterkühlt bedeutet: Die Temperatur liegt zwar unter dem Schmelzpunkt des Materials, aber es erstarrt nicht zu einem Kristall. Vielmehr bleiben die Atome und Moleküle ungeordnet. Zu diesem seltsamen Verhalten kommt es typischerweise, weil kein Kristallisationsansatz vorhanden ist, das heißt ein Vorläufer, auf dem weiteres Kristallgefüge aufbauen kann.

Fraggedakis, Hasyim und Mandadapu wollten herausfinden, was einer unterkühlten Flüssigkeit wie Glas ihren Charakter als Festkörper verleiht, wann sie

ihn verliert und was bei der Umwandlung mikroskopisch passiert. Dazu betrachteten sie eine weitere Kenngröße, die als Onset-Temperatur bezeichnet wird. Sie entspricht in gewisser Weise der klassischen Schmelztemperatur, allerdings für den besonderen Fall unterkühlter Flüssigkeiten: Sie markiert den Punkt, bei dem eine unterkühlte Flüssigkeit zu einer regulären wird.

Das Team aus Kalifornien erstellte ein vereinfachtes zweidimensionales Modell, führte Computersimulationen durch und verglich die Ergebnisse mit Experimenten. Wenn man eine Flüssigkeit abkühlt, behalten die Moleküle dem Modell zufol-

ge die ungeordnete Struktur bis zur Onset-Temperatur. Hier erreichen sie dann einen festkörperähnlichen Zustand und werden so viskos, dass sie sich effektiv kaum bewegen können. Dieses Einsetzen der Starrheit interpretierten die Forscher als einen bisher unentdeckten Phasenübergang, der unterkühlte von normalen Flüssigkeiten unterscheidet. Aber wieso genau geschieht dieser Übergang bei einer bestimmten Temperatur, und welche mikroskopische Erklärung gibt es für den Unterschied?

Laut der These der Forscher ändern alle unterkühlten Flüssigkeiten ständig ihre molekulare Anordnung und bleiben sozusagen in Bewegung. Das System wechselt zwischen verschiedenen Zuständen: Bei diesen handelt es sich um verschiedene lokale Minima in der Energielandschaft, die alle vom System angenommen werden können. Jedes entspricht einer anderen molekularen Konfiguration. Die Teilchen springen also von einem Minimum zum nächsten. Diese Anregungen modellierten die Forscher analog zu etwas, was normalerweise in festen Kris-

tallen vorkommt, nämlich als so genannte Defekte oder Löcher. In einer unterkühlten Flüssigkeit verbinden sie sich zu Paaren von Löchern. Der Zusammenhalt sorgt für Festigkeit. Erhitzt man die unterkühlte Flüssigkeit nun auf die Onset-Temperatur, so brechen die Paare in ungebundene Löcher auseinander. Bei der Entkopplung der Lochpaare verliert das System seine Starrheit und verhält sich wie eine normale Flüssigkeit.

Mit ihrer neuen Theorie haben die Wissenschaftler erstmals einen plausiblen Erklärungsansatz für den mikroskopischen Ursprung der Onset-Temperatur gefunden. Damit ließe sich besser verstehen, warum sich die Moleküle in amorphen Materialien unterhalb dieser Temperatur verhalten, als befänden sie sich in einem Festkörper. Die Betrachtung gilt allerdings nur für zweidimensionale Flüssigkeiten. In Zukunft möchte die Forschergruppe ihr Modell auch auf dreidimensionale Systeme erweitern und somit noch mehr über reale unterkühlte Flüssigkeiten herausfinden. ↗

KRISTALLE

Struktur mit **festen Regeln**

FÜR NUR
€ 4,99

Haareis | Fragile Eisfäden auf Totholz

Zirkone | Zeugen

der frühen Erdgeschichte

Materialwissenschaften | Die Suche nach idealem Glas

HIER DOWNLOADEN

An aerial photograph of the Panama Canal, showing its artificial waterway cutting through the lush green hills of the isthmus. A large cargo ship is visible in the canal's lock. The surrounding landscape is a mix of dense tropical forest and some cleared land along the canal banks.

KURIOSE KRISE

Dem Panamakanal geht das Wasser aus

VON LARS FISCHER

Wassermangel wird zu einem chronischen Problem für den Panamakanal. Dieses Jahr verschärfen gleich mehrere Faktoren die Situation – und es wird in Zukunft eher schlechter als besser.

Die Situation erinnert ein bisschen an die Havarie der »Ever Given« auf dem Sueskanal im März 2021 – nur dass sich diesmal das Wetter querstellt statt eines außer Kontrolle geratenen Containerschiffs. Damals war die »Ever Given« auf Grund gelaufen und hatte vor einer der wichtigsten Wasserstraßen der Welt einen enormen Schiff-Stau verursacht. Nun macht ungewöhnliche Trockenheit den Panamakanal immer schlechter passierbar. Um Wasser zu sparen, durchqueren seit Monaten weniger Schiffe die künstlich angelegte Fahrrinne, und auch der Wasserspiegel liegt zwei Meter niedriger als um diese Zeit üblich. Schon jetzt warten rund 200 Schiffe an den Einfahr-

ten zu den Kanalschleusen. Im schlimmsten Fall könnte der Kanal, auf dem jedes Jahr rund 14000 Schiffe die Landenge zwischen Atlantik und Pazifik überqueren, teilweise unbenutzbar werden.

Man muss sich Panama aber keineswegs als Wüste vorstellen – das Land in Mittelamerika ist eines der fünf regenreichsten Länder der Welt. Selbst wenn die Hälfte des Jahresniederschlags ausbleibt – wie derzeit in Teilen des Landes der Fall –, regnet es dort noch 50 Prozent mehr als in Deutschland. Mehr als genug Wasser für die gut vier Millionen Menschen zählende Bevölkerung des Landes.

Der Kern des Problems ist vielmehr der immense Wasserbedarf des Kanals selbst. Durch seine besondere Konstruktion braucht der Panamakanal laufend Nachschub, und zwar umso mehr, je mehr Schiffe den Wasserweg nutzen.

Lars Fischer arbeitet als Redakteur bei Spektrum der Wissenschaft.

Anders als der Sueskanal oder der Nord-Ostsee-Kanal verläuft der Panamakanal nicht auf Höhe des Meeresspiegels, sondern überquert – und durchschneidet – in 26 Meter Höhe eine Hügelkette, die sich der Länge nach durch die Landenge zieht.

Die Kanalschleusen verbrauchen enorm viel Wasser

Mehrere gigantische Schleusen sorgen dafür, dass die Schiffe den Höhenunterschied überwinden können – und das allein mit Hilfe der Schwerkraft, die Wasser aus den höchsten Abschnitten des Kanals bergab fließen lässt. Die Schleusen füllen sich mit Wasser aus dem höher liegenden Teil des Kanals; wenn ein Schiff abgesenkt wird, lässt die Schleuse das Wasser einfach auf dem niedrigeren Niveau wieder ab.

Dadurch kommen die Schleusen ohne Pumpen aus, das Prinzip hat jedoch einen großen Nachteil. Für jedes Schiff, das den Kanal durchquert, fließen 200000 Tonnen Wasser aus dem Kanal ins Meer. Zwar verwenden seit 2016 neue Schleusensysteme mit Speicherbecken einen Teil des

Wassers wieder – doch die deutlich größeren Schleusenkammern brauchen auch mehr davon. Das Wasser kommt aus dem Gatun-See, einem künstlichen Reservoir am höchsten Punkt des Panamakanals. Mit dem Wasserstand dort steht und fällt der ganze Kanal. Und gespeist wird der See von Regenwasser.

Da ist es natürlich unpraktisch, dass Panama gerade eines der zwei trockensten Jahre seit Beginn der Aufzeichnungen vor 143 Jahren erlebt. In einigen Teilen der Region fiel bisher lediglich die Hälfte des normalen Niederschlags. Der Wasserspiegel im Gatun-See ist deswegen immer noch niedriger als normal, und das, obwohl der August mitten in der wasserreichen Regenzeit von Mai bis Dezember liegt.

Um Wasser zu sparen, dürfen derzeit nur 32 Schiffe pro Tag den Kanal passieren statt wie üblich 35 bis 36. Und statt 50 Fuß (15,24 Meter) Tiefgang dürfen sie derzeit nur maximal 44 Fuß (13,41 Meter) tief ins Wasser reichen. Diese Einschränkungen haben bereits zu einem Stau von

derzeit rund 200 Schiffen und Wartezeiten von bis zu drei Wochen geführt – und sie gelten mindestens noch für die nächsten zehn Monate bis zum Beginn der nächsten Regenzeit.

Abholzung, Klimawandel, Verdunstung

Der Wassermangel ist das Ergebnis einer Kombination von Faktoren, von denen die Mehrzahl menschengemacht ist. Und vor allem ein chronisches Problem, das immer wieder zu Durchfahrtsbeschränkungen führt. Ein wichtiger Faktor ist, dass der See nach und nach vom Wassernachschub aus der umgebenden Landschaft abgeschnitten wird. Immer mehr natürlicher Regenwald wird in der weiteren Umgebung des Sees abgeholt – Bäume, die normalerweise ihrerseits Wasser speichern und nach und nach an den See abgeben.

Der Verlust des Waldes hat einen doppelten negativen Effekt. Zum einen fließt Regenwasser vom kahl geschlagenen Land direkt in den See, so dass dessen Wasserspiegel in der Regenzeit stark

CONTAINERSCHIFFE AUF DEM PANAMA-KANAL | Quer durch den tropischen Regenwald verbindet der Panamakanal Pazifik und Atlantik. Allerdings nicht auf Höhe des Meeresspiegels, sondern 26 Meter darüber. Das verursacht jetzt erhebliche Wasserprobleme.



steigt – manchmal zu stark. Ein Teil des Wassers muss abgelassen werden und fehlt dann während der Trockenzeit. Zusätzlich spült dieses Wasser Schlamm und Sand in den See, so dass dessen Volumen langsam weniger wird. Das ist umso schlimmer, als das Wasser, das am Ende der Regenzeit den Gatun-See füllt, tatsächlich fast das gesamte für den Schleusenbetrieb zur Verfügung stehende Wasser ist. Die stille Reserve im Wald wird immer weniger.

Dadurch trifft eine Trockenphase, wie sie seit einiger Zeit in vielen Gebieten Zentralamerikas herrscht, den Kanal viel härter, als wenn der Wald gesund wäre. Zuletzt hatten sehr trockene Jahre 2019 und 2020 zu Beschränkungen beim Verkehr auf dem Kanal geführt. Und die Dürren ihrerseits werden von mehreren Einflüssen verschärft. Einerseits wird die Region seit Jahrzehnten trockener, ein Trend, der vermutlich auf natürliche Klimazyklen zurückgeht.

Andererseits verstärkt auch der Klimawandel die Häufigkeit schwerer Dür-

ren. So berechneten Fachleute in einer Studie über die regionale Dürre von 2015 bis 2019, dass diese Trockenphase durch den Klimawandel rund viermal wahrscheinlicher geworden war. Auch langfristig macht der Klimawandel Panama wohl trockener. Modelle zeigen im Landesinneren insgesamt abnehmende Regenfälle, vor allem in der Regenzeit.

Inflation statt Sensation

Und es sind nicht nur geringere Niederschläge, durch die der Klimawandel den Kanal in Schwierigkeiten bringt. Ein anderer wichtiger Faktor sind höhere Temperaturen. Nach Angaben der Weltmeteologieorganisation WMO sind die Durchschnittstemperaturen in Zentralamerika um knapp ein Grad gestiegen – und je wärmer es ist, desto mehr Wasser verdunstet von der 470 Quadratkilometer messenden Oberfläche des Gatun-Sees.

Zu diesen langfristigen Problemen hinzu kommt dieses Jahr außerdem noch El Niño. In El-Niño-Jahren beginnt die Trockenzeit in Panama früher als normal,

so dass noch weniger Wasser den Gatun-See auffüllt. Gleichzeitig macht das warme Wasser im tropischen Pazifik auch die Luft über Zentralamerika wärmer und erhöht so weiter die Verdunstung. Fachleute rechnen damit, dass das nächste Jahr wegen El Niño ebenso trocken sein wird.

Dadurch allein fällt der Panamakanal selbstverständlich noch nicht trocken. Aber die Wassersparmaßnahmen haben merkliche Folgen für die Schifffahrt. Rund zehn Prozent weniger Schiffe dürfen derzeit durch den Kanal passieren, bis zu drei Wochen warten sie, um in den Kanal einfahren zu können. Zusätzlich müssen die größten Containerschiffe sogar einen Teil ihrer Ladung löschen und per Eisenbahn zum anderen Ende des Kanals bringen lassen.

Die gute Nachricht ist, dass die Auswirkungen der Trockenheit am Panamakanal selbst im schlimmsten Fall weit geringer sind als nach der Havarie der »Ever Given«. Erstens ist der Panamakanal weniger zentral für die globale Schifffahrt als der Sueskanal, und zweitens ist es un-

wahrscheinlich, dass der Kanal durch Dürre vollständig unpassierbar wird. Womöglich wird es jedoch durch Einschränkungen und Verzögerungen in Zukunft für viele Schiffe unwirtschaftlich, den Kanal zu nutzen. Da Containerschiffe außerdem seit Jahrzehnten immer größer werden, könnte der Panamakanal langfristig an Bedeutung verlieren.

Kurzfristig allerdings entstehen durch das Wasserproblem des Panamakanals zusätzliche Kosten, die über kurz oder lang an die Verbraucher weitergegeben werden. Im Juni begann zum Beispiel die Reederei Hapag-Lloyd, für jeden Container, der durch Panama hindurchmuss, 500 Dollar mehr zu berechnen. Damit folgt auch die Dürre am Kanal einem Muster, das sich bei vielen Folgen des Klimawandels abzeichnet: Sie verursacht keine spektakulären Bilder, sondern vor allem schleichende Inflation. ↵



Klimawandel | Es grünt nicht mehr in Spanien
Gletscherschmelze | Wenn der Nachschub ausbleibt
Wasserwirtschaft | Wege aus der Trockenheit

HIER DOWNLOADEN

Wie Staaten weltweit KI in Schach halten wollen

VON MATTHEW HUTSON



An der Regulierung künstlicher Intelligenz (KI) führt kein Weg vorbei, weltweit gibt es noch keine einheitlichen Standards.

Welche Regeln planen China, die EU und die USA, um die Risiken der neuen Technologie in den Griff zu bekommen?

Eine Regulierung der KI ist unerlässlich», sagte Sam Altman, Geschäftsführer des Technologieunternehmens OpenAI, im Mai 2023 vor US-Senatoren bei einer Anhörung über künstliche Intelligenz (KI). Viele Technikexperten und -laien stimmen dem zu, und der Ruf nach gesetzlichen Leitplanken für KI wird immer lauter. Die Europäische Union plant, nach mehr als zweijähriger Debatte noch 2023 ihre ersten umfassenden KI-Gesetze zu verabschieden. In China sind bereits KI-Vorschriften in Kraft.

In der Praxis hingegen streiten die Menschen noch immer darüber, was genau eingedämmt werden soll, wie ris-

Matthew Hutson schreibt unter anderem für »Nature« über biologische und künstliche Kognition.

kant KI ist und was es eigentlich einzuschränken gilt. Auch wenn das in Kalifornien ansässige Unternehmen OpenAI und andere Firmen öffentlich eine stärkere Überwachung der KI fordern, verweigern sich diese Unternehmen einigen von der EU vorgeschlagenen Kontrollen und sprechen sich für internationale Beratungsgremien sowie freiwillige Verpflichtungen statt neuer Gesetze aus. Unterdessen verändert sich die Technologie laufend weiter.

Drei Hauptakteure – die USA, Europa und China – haben bisher unterschiedliche Ansätze verfolgt, sagt Matthias Spielkamp. Er ist Geschäftsführer von AlgorithmWatch, einer in Berlin ansässigen gemeinnützigen Organisation, die die Auswirkungen der Automatisierung auf die Gesellschaft untersucht. Die EU sei

Wir sind Zeugen eines großen regulatorischen Experiments

ausgesprochen vorsichtig – ihr bevorstehendes Gesetz über künstliche Intelligenz konzentriert sich darauf, einige Anwendungen zu verbieten und andere zuzulassen, wobei die geplante KI-Verordnung gleichzeitig Sorgfaltspflichten für KI-Unternehmen festlegt, meint Spielkamp.

Die Vereinigten Staaten, wo viele führende KI-Firmen ansässig sind, haben sich bisher am wenigsten eingemischt mit einer Blaupause für den US Bill of AI Rights. In China versucht die Regierung, ein Gleichgewicht zwischen Innovation und Zensur herzustellen. Unternehmen und öffentliche Äußerungen werden dort weiterhin streng kontrolliert. Allesamt versuchen sie herauszufinden, inwieweit für KI spezielle Regulierung erforderlich ist, da bestehende Gesetze bereits einige Risiken hinreichend regeln könnten.

»Viele sagen, KI sei die wichtigste Innovation, die die Menschheit je hervorgebracht hat«, erklärt David Wang, Chief Innovation Officer bei Wilson Sonsini, einer großen Anwaltskanzlei im Silicon Valley. »Es ist viel leichter, ›Halt!‹ zu rufen, als zu präzisieren: ›Hier entlang, geht in diese Richtung.‹« In gewissem Sinne sind wir Zeugen eines großen regulatorischen Experiments.

Die EU will KI nach Risikoklassen regulieren

Im Juni 2023 verabschiedete das EU-Parlament das KI-Gesetz – ein gigantischer Rechtsakt, der bei einem Inkrafttreten in der aktuellen Form KI-Tools auf der Grundlage ihres potenziellen Risikos kategorisieren würde. Das Gesetz könnte sich noch ändern, da erst alle drei stimmberechtigten EU-Gremien – das Parla-

ment, die Kommission und der Europarat – es in einem so genannten Trilogverfahren billigen müssen.

Der aktuelle Entwurf würde die Verwendung von Software verbieten, die laut Entwurf ein inakzeptables Risiko darstellt. Gemäß dieser Definition schließt die KI-Verordnung (»EU AI Act«) etwa die Anwendung künstlicher Intelligenz in der vorhersagenden Polizeiarbeit (»Predictive Policing«) sowie in der Emotions- und Echtzeit-Gesichtserkennung als inakzeptabel aus.

Zahlreiche andere Anwendungen KI-gestützter Software wären erlaubt, allerdings gemäß deren Risikoeinstufung mit jeweils unterschiedlichen Anforderungen. Dazu gehören Werkzeuge, die Entscheidungen im Bereich von Sozialleistungen und in der Strafjustiz unterstützen, ebenso wie solche, die Unternehmen

WEISSE SPRINGER AUF DEM SCHACHBRETT AM ZUG – SPIELREGELN FÜR KI |
Weltweit sind Staaten auf der Suche nach geeigneten Spielregeln für KI-Systeme.
Ein internationaler Konsens scheint nicht in Reichweite zu sein, dafür gibt es auf staatlicher Ebene zahlreiche Ansätze.



beim Auswählen von Bewerbern und Einstellen neuer Mitarbeiter helfen. Hier verlangt die KI-Verordnung von den Entwicklern einen Nachweis, dass ihre Systeme sicher, wirksam, datenschutzkonform, transparent, für die Nutzer verständlich und nicht diskriminierend sind.

Für »Hochrisiko«-Anwendungen, zu denen auch Software in der Strafverfolgung und im Bildungswesen gehört, verlangt die Verordnung eine ausführliche Dokumentation, das automatische Protokollieren aller Anwendungsfälle, in denen KI-Systeme zum Einsatz kommen, und das regelmäßige Prüfen der Systeme auf ihre Genauigkeit, Sicherheit und Fairness.

Unternehmen, die gegen die Vorschriften verstossen, könnten mit einer Geldstrafe in Höhe von sieben Prozent ihres weltweiten Jahresgewinns belegt werden. Sie hätten etwa zwei Jahre Zeit, um die Vorschriften nach Inkrafttreten des Gesetzes zu erfüllen, was zwar bereits 2024 der Fall sein könnte, aber nicht vor 2025 praktisch eintreten dürfte.

Offen bleibt die Frage, was als hohes Risiko gilt. 2022 legte OpenAI der EU ein Weißbuch vor, in dem das KI-Unternehmen argumentierte, seine großen Sprachmodelle (Large Language Models, kurz LLMs, wie die hinter ChatGPT) und Modelle zum Erzeugen von Bildern wie DALL·E 2 sollten nicht in diese Kategorie fallen. Dieser Wunsch fand offenbar Einzug in den aktuellen EU AI Act, der Basismodelle in eine eigene Kategorie einordnet. »Foundation Models« wie GPT-4 sind KI-Systeme für allgemeine Zwecke (»general purpose«) im Gegensatz zu KI-Modellen, die nur für eine bestimmte Anwendung trainiert worden sind (»special purpose«). Zur Klasse dieser Allzweckmodelle gehören generative KI-Tools, die wirklichkeitsnahe Texte, Bilder und Videos automatisiert herstellen können.

Die Risiken solcher Modelle sind anders gelagert als bei den KI-Klassifizierungssystemen, die in der Strafverfolgung zum Einsatz kommen könnten. Bildgebende KI-Programme und große Sprachmodelle können etwa zur Ver-

breitung schädlicher Inhalte wie »Rache-Pornos«, Schadsoftware, Desinformation und Betrug führen, und sie könnten letztlich das Vertrauen der Menschen in die Gesellschaftsordnung untergraben. Die Frage, welche Art von Transparenz für solche Instrumente erforderlich ist und inwiefern sie sich überhaupt durchsetzen ließe, ist ein ernstes Problem. Und da diese Systeme auf riesige Mengen menschengemachter Texte und Kunstwerke trainiert werden, ist auch die Verletzung und der Schutz von Urheberrechten eine ungelöste Herausforderung.

Die EU möchte die Anbieter von Basismodellen (Foundation Models) dazu verpflichten, urheberrechtlich geschütztes Material, das sie als Trainingsdaten verwendet haben, öffentlich aufzulisten und ihre Modelle so nachzutrainieren, dass sie keine rechtswidrigen Inhalte mehr erzeugen können. Der gegenwärtige Entwurf der europäischen KI-Verordnung verlangt auch die klare Kennzeichnung von Inhalten, die durch KI erstellt wurden. Dies gilt jedoch nur für gewisse

Arten von »Deepfake«-Inhalten, die echte Personen ohne deren Zustimmung so darstellen, als würden sie bestimmte Dinge sagen oder tun, die sie nicht gesagt oder getan haben.

Auflagen für die Anbieter von KI unerfüllbar?

Ob der Ansatz der EU zu stark oder zu schwach sei, hänge davon ab, wen man fragt, sagt der Geschäftsführer von AlgorithmWatch Spielkamp. Der Politikanalyst Daniel Leufer stimmt dem zu: »Ich denke, dass die KI-Branche viel darüber schwadroniert, dass [Regulierung] alle Innovationen zunichthemachen wird und dass sie nicht in der Lage wären, die Auflagen zu erfüllen«, sagt Leufer, der bei Access Now in Brüssel arbeitet, einer internationalen Organisation, die digitale Rechte verteidigt. Ihm zufolge ist das »bloß die übliche Effekthascherei«.

Der Technikethikerin Joanna Bryson, die an der Hertie School in Berlin über künstliche Intelligenz und deren Regulierung forscht, sind Unternehmen bekannt,



Über Lobbyismus

Gemäß den Erkenntnissen europäischer Lobbyismusbeobachter sollen sich große Konzerne wie Microsoft in Brüssel gegen die geplante Regulierung starkgemacht und versucht haben, Einfluss auf die Gesetzgebung zu nehmen und eine stärkere Regulierung zu verhindern – mehr dazu findet sich etwa im Bericht »The Lobbying Ghost in the Machine« der Lobby-Kontrollgruppe Corporate Europe Observatory von Februar 2023.

Vor allem das maßgeblich von Microsoft finanzierte Start-up OpenAI wälzt in seinen Geschäftsbedingungen bislang das Risiko der KI-Anwendung im Falle mangelnder Gesetzeskonformität auf die Nutzerinnen und Nutzer ab. Im Abschnitt 3 der Terms of Service steht wörtlich: »Sie [als Nutzer] sind selbst verantwortlich für den Inhalt – insbesondere dafür, sicherzustellen, dass er keine gültigen Gesetze oder diese Geschäftsbedingungen verletzt.«

Silke Hahn, Technikredakteurin bei Spektrum der Wissenschaft

die die geplanten Gesetze begrüßen – da die Einhaltung keine große Belastung darstelle und ihre Produkte verbessern werde, wie Bryson erklärt. Ein Sprecher von Microsoft etwa verwies auf [Blogbeiträge des Unternehmens](#), in denen der US-Konzern die Notwendigkeit einer Regulierung einschließlich der europäischen KI-Verordnung unterstützt.

Laut AlgorithmWatch gibt es Kritikpunkte am EU-Ansatz: So seien Unternehmen, solange sie sich an die mit der Risikokategorie ihrer Anwendung verbundenen Regeln halten, stark gegen die Haftung für Schäden abgesichert, die von ihrem System ausgehen könnten, erläutert Spielkamp. Außerdem könnte ein Unternehmen auf einem Tool eines anderen Unternehmens aufbauen, das wiederum auf einem Tool eines dritten Unternehmens aufbaut, so dass am Ende der Kette unklar ist, wer als Verursacher gilt und für einen Schaden haftet.

Die KI-Verordnung wird sich noch weiterentwickeln, bevor sie final verabschiedet wird, ergänzt Lilian Edwards, die an

der Newcastle University (Großbritannien) auf Internetrecht spezialisiert ist. Sie warnt davor, den Entwurf jetzt schon zu tief im Detail zu analysieren. Für einen »guten Anfang« hält sie ihn allerdings bereits, da er einige nützliche technische Details enthält wie etwa den Hinweis, dass Anbieter sich vor möglicher »Datenvergiftung« in Acht nehmen müssen, bei der Menschen KI-Systeme haken, indem sie deren Trainingsdaten manipulieren. Edwards würde es vorziehen, wenn das Gesetz risikoreiche KI anhand einer Reihe klarer Kriterien statt mittels einer Liste konkreter Anwendungsfälle definieren würde, um die Gesetzgebung zukunftsfest zu machen.

KI-Algorithmen und Technologieethik

In der EU gelten bereits einige Vorschriften, die KI betreffen. Die DSGVO (Datenschutz-Grundverordnung) etwa schränkt seit 2018 das Erheben, Speichern und Verarbeiten personenbezogener Daten im europäischen Rechtsraum ein. EU-Bürgerinnen und -Bürger ver-

fügen durch die DSGVO bereits über das Recht auf »aussagekräftige Informationen« über die Prozesslogik automatisierter Entscheidungen (manchmal bezeichnet als »Recht auf Erklärung«) sowie das Recht auf ein Opt-out beim Verarbeiten persönlicher Daten. In der Praxis sind diese Rechte derzeit bloß von begrenztem Nutzen: Nur wenige Prozesse sind vollständig automatisiert, wie etwa die Einblendung von Werbung, erläutert Michael Birtwistle, der am Ada Lovelace Institute im Bereich KI und Daten für Recht und Politik zuständig ist. Das in London ansässige Institut ist eine Forschungseinrichtung, die sich mit Fragen der Technologieethik befasst.

Was insbesondere KI-Algorithmen für Empfehlungen und die Moderation von Inhalten angeht, so hat [die EU 2022 den Digital Services Act \(DSA\) verabschiedet](#), mit dem die Verbreitung gefährlicher Inhalte im Internet eingedämmt werden soll und der in Deutschland das bisherige Netzwerkdurchsetzungsgesetz überflüssig macht. Die Unternehmen müssen

den Nutzern erklären, wie ihre Algorithmen funktionieren, und Alternativen anbieten. Allgemein wird das Gesetz ab Februar 2024 gelten, während die großen Online-Plattformen – darunter Google, Facebook, X (vormals Twitter) und TikTok – die Vorschriften bereits ab Ende August 2023 erfüllen müssen.

KI-Regulierung in den USA: »Anschein von Aktivität«

Im Gegensatz zur Europäischen Union gibt es in den Vereinigten Staaten von Amerika weder umfassende KI-bezogene Bundesgesetze noch bedeutende Datenschutzvorschriften. Im Oktober 2022 veröffentlichte das Office of Science and Technology Policy (OSTP) des Weißen Hauses mit der Blaupause für einen AI Bill of Rights den Entwurf eines künftigen KI-Bundesgesetzes in den USA. Dabei handelt es sich um ein Weißbuch, das mögliche KI-Regeln skizziert und fünf unverbindliche Grundsätze beschreibt, die den KI-Einsatz künftig leiten sollen. Der Entwurf besagt, dass automatisier-

te Systeme sicher und effektiv, nicht diskriminierend, die Privatsphäre der Menschen schützend und transparent sein sollten. Die Menschen sollten benachrichtigt werden, wenn ein KI-System automatisiert eine Entscheidung für oder über sie trifft, sie sollten über die Funktionsweise des Systems informiert werden und die Möglichkeit haben, sich dagegen zu entscheiden, oder darauf bestehen können, dass ein Mensch in den Prozess eingreift.

»Von der Grundidee her sind sich [die US-amerikanische Blaupause und die geplante KI-Verordnung der EU] sehr ähnlich in der Art, wie sie die Ziele der KI-Regulierung bestimmen: Beide sollen gewährleisten, dass die Systeme sicher und effektiv, nicht diskriminierend und transparent sind«, sagt Suresh Venkatasubramanian von der Brown University in Providence, Rhode Island. Der Informatiker hat den Entwurf mitverfasst, als er beim OSTP stellvertretender Leiter für Wissenschaft und Justiz war. Obwohl sich die Vorstellungen der USA über die Umsetzung von denen der EU im Detail etwas

unterscheiden, würde er sagen, »dass sie in weitaus mehr Punkten übereinstimmen als voneinander abweichen«.

Es könne hilfreich sein, »wenn ein Land seine Vision skizziert«, meint Sarah Kreps, die das Tech Policy Institute an der Cornell University in Ithaca, New York leitet. Ihr zufolge klaffe aber zwischen der unverbindlichen Blaupause und dem praktisch wirksamen Gesetzestext der EU eine große Lücke.

In den Vereinigten Staaten kam es zu Anhörungen im Kongress und zu Treffen mit dem Präsidenten und der Vizepräsidentin zum Thema KI-Regulierung. Nach einer kleineren Gesprächsrunde im Mai trafen sich im Juli 2023 die Geschäftsführer sieben führender US-Unternehmen – von Amazon, Anthropic, Google, Inflection, Meta, Microsoft und OpenAI – mit Präsident Joe Biden und kündigten freiwillige Schutzmaßnahmen an. So versprachen sie etwa, ihre Produkte eingehend zu testen, Einschränkungen zu melden und Wasserzeichen zu erarbeiten, die dabei helfen könnten, mit KI erstelltes Material



CLAUDETTE THEBAT / STOCK.ADOBE.COM

zu kennzeichnen. Die Versprechen sind jedoch vage gehalten und unverbindlich. In einer Senatsanhörung im selben Monat forderte Dario Amodei, der Leiter von Anthropic in San Francisco, Kalifornien und vormaliger Leiter der KI-Sicherheitsforschung bei OpenAI, eine US-Gesetzgebung, die Auditierung und Sicherheitstests für KI-Modelle vorschreibt. Amodei äußerte sich besorgt über mögliche Übeltäter, die KI-Systeme missbrauchen könnten.

»Wir haben es hier mit dem Anschein von Aktivität zu tun«, kommentiert Ryan Calo. Der geschäftsführende Leiter des von ihm mitbegründeten Tech Policy Lab der University of Washington in Seattle kann in den Versprechen der Konzerne »nichts Substanzielles und Verbindliches« ausmachen.

Im Oktober 2022 hat eine Verordnung über interne KI-Schulungen (»AI Training Act«) den Kongress passiert. Sie

»Auf staatlicher Ebene verheddern wir uns in einem Flickenteppich aus Regeln«

Sarah Kreps, Leiterin des Tech Policy Institute der Cornell University in Ithaca, New York

schreibt vor, dass Beamte von Bundesbehörden, die KI-Produkte und -Dienstleistungen beschaffen, darin zu schulen sind, wie KI funktioniert. Im Februar 2023 unterzeichnete Präsident Biden zudem eine »executive order« (zu Deutsch eine Durchführungsverordnung im Sinne eines unmittelbar wirksamen Dekrets), in der kurz erwähnt wird, dass »algorithmische Diskriminierung verhindert und behoben wer-

den muss« – auch diese Verordnung gilt nur für Bundesbehörden.

Laut dem Mitverfasser des »Blueprint for an AI Bill of Rights« Venkatasubramanian ist die Blaupause detailliert genug, dass Behörden und Bundesstaaten damit beginnen, ihre Grundsätze in ihren Vorschlägen umzusetzen. So sieht etwa ein Gesetzentwurf der kalifornischen Staatsversammlung (genannt AB 331) vor, dass Entwickler automatischer Entscheidungshilfen den Zweck ihrer Programme beim Staat anmelden und erklären müssen, wie diese eingesetzt werden.

Offenlegen, wann Bundesbehörden KI-Programme einsetzen

Außerdem hat Venkatasubramanian das Weiße Haus aufgefordert, eine Durchführungsverordnung zu erlassen, die sich auf den Blueprint und auf einen freiwilligen Rahmen für das KI-Risikomanagement stützt, der ebenfalls vom US National Institute of Standards and Technology herausgegeben wurde. Blaupause und Rahmenwerk würden darauf abzielen,

dass alle Bundesbehörden, die KI einsetzen, in der Praxis offenlegen, in welchen Fällen sie KI-Systeme verwenden, und dass sie ihre behördlichen Entscheidungen verständlich erklären.

Einige Bundesgesetze wurden bereits im Kongress vorgelegt. Die Gesetzgeber hatten zuvor einen Gesetzentwurf zur Rechenschaftspflicht bei Algorithmen in Erwägung gezogen, der von Unternehmen, die Automatisierungstechnik einsetzen, verlangt, dass sie etwa der Verbraucherschutzbehörde Federal Trade Commission (FTC) Folgenabschätzungen vorlegen. Dieser Gesetzesentwurf wurde jedoch nicht angenommen, und angeichts der derzeitigen politischen Spaltung des US-Kongresses ist unklar, ob dieser Entwurf oder andere Gesetzesentwürfe Akzeptanz finden würden.

Zusätzlich könnten bestehende Vorschriften, die von Bundesbehörden durchgesetzt werden, auf KI-bezogene Produkte ausgeweitet werden. Im April 2023 schlug das US-Gesundheitsministerium vor, seine Vorschriften für elek-

tronische Gesundheitsakte zu aktualisieren, um Patienten Einblick in die Faktoren zu gewähren, die Vorhersagemodelle beeinflussen. 2022 stellte das unter Barack Obama gegründete, für Verbraucherschutz in Finanzanliegen zuständige Consumer Financial Protection Bureau (CFPB) klar, dass Unternehmen erklären müssen, warum sie jemandem einen Kredit verweigern, auch wenn die Entscheidung von einem Algorithmus getroffen wird.

Die Federal Trade Commission hat die Unternehmen auch daran erinnert, dass die Verbraucherschutzgesetze, die »unlautere oder irreführende Handlungen oder Praktiken im oder mit Bezug auf den Handel« verbieten, ebenfalls für KI gelten. Im Juli 2023 leitete die FTC eine Untersuchung der Datensicherheitspraxis von OpenAI ein und forderte das Unternehmen auf, Angaben zu allen Beschwerden zu machen, denen zufolge seine großen Sprachmodelle falsche oder schädliche Aussagen über Menschen getätigt haben.

Insgesamt sei die Situation gerade schwierig, sagt Venkatasubramanian. Gemeinsam mit seinen Kollegen vom OSTP versuche er derzeit herauszufinden, was mit den bestehenden Vorschriften in den USA möglich sei. In einigen Fällen könnten neue Bundesvorschriften sinnvoll sein, sagt er. So könnten diese ein bestimmtes Maß an Transparenz für automatisierte Systeme vorschreiben oder festlegen, wie die Voreingenommenheit eines Algorithmus zu begrenzen ist, bevor er eingesetzt werden darf.

Einige US-Bundesstaaten und -Städte haben bereits eigene KI-bezogene Vorschriften erlassen. In Illinois schreibt ein Gesetz aus dem Jahr 2020 vor, dass Unternehmen den Einsatz von KI zur Auswertung von Einstellungsgesprächen ankündigen und erläutern müssten. Zudem verfügt der Bundesstaat seit Langem über ein Gesetz, das es den Bürgern ermöglicht, gegen den Missbrauch biometrischer Daten, einschließlich Scans zur Gesichtserkennung, zu klagen. (Facebook zahlte 650 Millionen US-Dollar, um

2021 eine Sammelklage auf der Grundlage dieser Vorschrift beizulegen.) Andere Staaten haben den Strafverfolgungsbehörden die Verwendung von Gesichtserkennung verboten, und einige schützen personenbezogene Daten und beschränken automatisierte Entscheidungen, die auf diesen Daten basieren. »Auf staatlicher Ebene verheddern wir uns in einem Flickenteppich aus Regeln«, sagt Kreps.

Was generative KI betrifft, dominieren derzeit laut James Grimmelmann in den USA Rechtsstreitigkeiten über das Urheberrecht. Er leitet das Cornell Tech Research Lab in Applied Law and Technology in New York City. Die Bildagentur Getty Images hat die Firma Stability AI verklagt, weil diese ihre Software zur Bilderzeugung, Stable Diffusion, mit Getty-Inhalten trainiert hat. Und Microsoft und OpenAI wurden von anonym gehaltenen Prozessparteien verklagt, weil sie die Code-Schreibsoftware GitHub Copilot mit von Menschen geschriebenem Programmcode trainiert haben. Die Kläger wollten vordergründig nur Lizenzge-

bühren, aber es sei möglich, dass im Fall eines Sieges solcher Klagen das Urheberrecht als Ausgangspunkt diene, um umfassendere Gesetzgebung zu Themen wie Voreingenommenheit (»Bias«), Desinformation und Datenschutz voranzutreiben, so Grimmelmann.

Amerikaner erfinderischer als Europäer?

Einige Unternehmen hätten sich gegen den Blueprint des Office of Science and Technology Policy gewehrt und dabei argumentiert, die Branche könne Bedenken leicht durch freiwillige Selbstregulierung ausräumen, ergänzt Venkatasubramanian. Andere Unternehmen hätten ihm jedoch mitgeteilt, dass sie den Entwurf unterstütztten, um eine Abwärtsspirale in der KI-Ethik zu verhindern, bei der sich die Firmen gegenseitig wegen Wettbewerbsvorteilen unterbieten würden. Als Sam Altman, Mitgründer und derzeitiger Geschäftsführer des ChatGPT-Anbieters OpenAI, im Mai 2023 vor dem Ausschuss des US-Senats auftrat, schlug er die Vergabe von Lizenzen für große Modelle vor.

»Einerseits ist [China] sehr motiviert, soziale Kontrolle durchzusetzen. Andererseits gibt es ein echtes Bedürfnis, die Privatsphäre des Einzelnen zu schützen«

Kendra Schaefer, Forschungsabteilung für Technologiepolitik bei Trivium China

Er und andere haben jedoch auch das Risiko angesprochen, große Unternehmen könnten die Regulierungsbehörden zu Regeln verführen, die ihnen Vorteile gegenüber kleineren Firmen verschaffen.

Big Tech habe sich bisher nicht sonderlich gegen die Regulierung von KI wehren müssen, sagt Kreps. »Ich glaube nicht, dass es im Moment das Gefühl gibt, eine sinnvolle Gesetzgebung stünde am Horizont.«

»Ein gängiger Witz unter Juristen ist, dass die Amerikaner an der Technologiefront erfinderisch seien und die Europäer an der Regulierungsfront«, sagt Wang. »Manche Leute sagen, es sei kein Zufall, dass Europa bei der Regulierung von Big Tech so weit vorne liegt«, weil es in Europa weniger große Technologieunternehmen gebe und daher weniger Lobbyarbeit.

China: Die Gesellschaft im Griff behalten
China hat bisher die meisten KI-Gesetze erlassen – allerdings gelten diese für KI-Systeme, die von Unternehmen und nicht von der Regierung eingesetzt werden. Ein Gesetz aus dem Jahr 2021 verlangt Transparenz und Unvoreingenommenheit bei der Verwendung personenbezogener Daten für automatisierte Entscheidungen sowie die Möglichkeit, solche Entscheidun-



gen abzulehnen. Ein Regelwerk der Cyber-space Administration of China (kurz CAC, Chinas Internetregulator) aus dem Jahr 2022 zu Empfehlungsalgorithmen besagt, dass diese keine Fake News verbreiten, Nutzer von Inhalten abhängig machen oder soziale Unruhen schüren dürfen.

Im Januar 2023 begann die CAC mit der Durchsetzung der 2022 erlassenen Regeln zur Bekämpfung von Deepfakes und Kontrolle anderer mittels KI erstellter Inhalte (der Entwurf baut auf vorheriger Gesetzgebung auf und ergänzt die Gesetze mit Blick auf synthetische KI-erstellte Daten: »KI-generierte Inhalte müssen wahrheitsgetreu sein«). Anbieter von Diensten, die Bilder, Videos, Audios oder Texte synthetisieren, müssen demzufolge die Identität der Nutzer überprüfen, die Zustimmung der Deepfake-Zielpersonen einholen, die Ausgaben mit Wasserzeichen versehen sowie protokollieren und gegen maschinengenerierte Desinformationen vorgehen.

Die chinesische Internetaufsicht beginnt im August 2023 mit der Durchset-

zung weiterer Vorschriften, die sich gegen generative KI-Tools wie ChatGPT und DALL-E von OpenAI richten. Diese Vorschriften besagen unter Androhung schwer wiegender Sanktionen, dass Unternehmen die Verbreitung falscher, privater, diskriminierender oder gewalttätiger Inhalte oder von Inhalten, die die sozialistischen Werte Chinas untergraben, verhindern müssen.

»Einerseits ist [Chinas Regierung] sehr motiviert, soziale Kontrolle durchzusetzen. China ist eines der am stärksten censierten Länder der Welt. Andererseits gibt es ein echtes Bedürfnis, die Privatsphäre der Einzelnen vor dem Eindringen von Unternehmen zu schützen«, erklärt Kendra Schaefer, Leiterin der Forschungsabteilung für Technologiepolitik bei Trivium China, einem in Peking ansässigen Beratungsunternehmen, das seine Kunden über die chinesische Politik informiert. Die CAC hat auf die Anfrage von »Nature« nach einer Stellungnahme zu diesem Artikel nicht reagiert.

Globale Unwägbarkeiten

Einige andere Länder haben eigene Ziele für die Regulierung von KI formuliert. Die kanadische Regierung hat mit dem Artificial Intelligence and Data Act ein Gesetz über künstliche Intelligenz und Daten eingeführt, das Transparenz, Nichtdiskriminierung und Sicherheitsmaßnahmen für so genannte hochwirksame (»high-impact«) KI-Systeme vorschreibt – was genau als hochwirksam gilt, muss noch definiert werden. Großbritannien, das im November 2023 einen Gipfel zum Thema KI-Sicherheit ausrichtet, veröffentlichte im März 2023 ein Weißbuch, in dem es einen »innovationsfreundlichen Ansatz beschreibt und demzufolge keine neuen Vorschriften plant. Das KI-Gesetz der EU könnte sich jedoch auf Unternehmen weltweit auswirken, so wie die Datenschutz-Grundverordnung (DSGVO) die Arbeitsweise globaler Technologieunternehmen geprägt hat. Einige der chinesischen KI-Vorschriften könnten beeinflussen, wie Unternehmen weltweit operieren – obwohl Grimmelmann betont,

Unternehmen könnten ihre KI-Dienste für verschiedene Märkte individuell anpassen, so dass es dann landesspezifische Versionen einzelner KI-Systeme geben könnte.

Zudem laufen Diskussionen über mögliche internationale Vereinbarungen. Der Council of Europe (eine Menschenrechtsorganisation, die sich vom Rat der Europäischen Union unterscheidet) entwirft einen Vertrag, der die Auswirkungen von KI auf die Menschenrechte ins Zentrum stellen würde, aber einzelne Länder könnten sich per Opt-out gegen einige der Regeln entscheiden. Der Generalsekretär der Vereinten Nationen, António Guterres, hat ebenfalls ein neues UN-Gremium zur Regelung der KI vorgeschlagen, das in seinen Augen möglicherweise notwendig wird.

KI-Unternehmen haben im Allgemeinen angedeutet, dass zwischenstaatliche Abkommen notwendig sein werden, bleiben jedoch unkonkret, was vereinbart werden müsste und wie es durchgesetzt werden könnte. Im Juli 2023 schlugen

etwa das in London ansässige Unternehmen Google DeepMind und einige seiner akademischen Mitarbeiter eine globale Advanced AI Governance Organization vor, die Standards festlegen und deren Einhaltung überwachen könnte, wobei das Unternehmen nur wenige Angaben zur konkreten Durchsetzungsfähigkeit machte.

Eine Sprecherin von DeepMind sagte, es obliege in den Fällen, in denen die vorgeschlagene Organisation Richtlinien für die nationale Verwaltung festlegt, den Regierungen, für die Entwickler zur Einhaltung der Standards »Anreize zu schaffen«. Sie wies darauf hin, dass sich die Regulierung beim Erstellen neuer Richtlinien auf Anwendungen von KI konzentrieren sollte, die physischen Schaden verursachen könnten, wie etwa im medizinischen Bereich oder im Energienetz, und nicht wahllos auf alle Systeme angewendet werden sollte. Microsoft hat erklärt, dass es verschiedene Bemühungen zur Entwicklung internationaler freiwilliger Rahmenwerke unterstütze. Ein

Konzernsprecher argumentierte, »Leitplanken auf Prinzipienebene« seien hilfreich, auch wenn sie nicht verbindlich sind. OpenAI lehnte es ab, sich gegenüber »Nature« zur Regulierung zu äußern, und verwies stattdessen auf Blogbeiträge über seine freiwilligen Bemühungen (etwa die Beiträge »Moving AI governance forward« und »Frontier Model Forum«).

Weltweite KI-Standards: Schwer durchsetzbar?

Ein im März 2023 von führenden Verttern der Technologiebranche unterzeichnetes Schreiben, in dem eine sechsmonatige Pause bei der Entwicklung leistungstarker KI gefordert wurde, scheint jedoch wenig Wirkung gezeigt zu haben. Luke Muehlhauser, ein leitender Programmbeauftragter bei der Forschungsstiftung Open Philanthropy in San Francisco, hat weitere Ideen vorgestellt, darunter auch Lizenzen für große KI-Modelle, ferngesteuerte Ausschalter (»Kill Switches«) in großen Computerclustern, die – wie der Name andeutet – im Notfall ein System

herunterfahren könnten, und ein Melde-
system für Schäden sowie Beinaheun-
fälle. Die gemeinnützige Stiftung finan-
ziert den Aufbau einer Datenbank für KI-
Vorfälle, die AI Incident Database.

Der Einsatz von KI zur Steuerung von
Waffen ist ebenfalls ein Problem. Dutzende
Länder haben die UNO aufgefordert,
tödliche autonome Waffensysteme
zu regulieren. Militärische KI ist auch in
der europäischen KI-Verordnung nicht
erfasst und davon ausdrücklich ausge-
nommen. Allerdings versperren sich die
Vereinigten Staaten bislang noch einer
gemeinsamen Regulierung autonomer
Waffensysteme mit KI. Vor einem UN-
Treffen zu diesem Thema im März 2023
argumentierten die Vertreter der USA,
dass sich die Staaten noch nicht darüber

einig seien, was als autonome Waffe gelte,
und dass es vorerst besser wäre, Richt-
linien zu haben, die rechtlich nicht bin-
dend seien.

Das ist ein weiteres Beispiel dafür, dass
eine weltweite, länderübergreifende Ko-
ordinierung der KI-Regulierung unwahr-
scheinlich ist. Die verschiedenen Gesell-
schaften in den einzelnen Staaten haben
teils sehr unterschiedliche Vorstellungen
davon, was zu tun ist. ↗

nature

© Springer Nature Limited

Nature, [10.1038/d41586-023-02491-y](https://doi.org/10.1038/d41586-023-02491-y), 2023

PRIVATSPHÄRE

Datenschutz in der digitalen Welt

FÜR NUR
€ 4,99

Metaverse | Willkommen im
digitalen Paralleluniversum

Individualität | Tonschnipsel der
Persönlichkeit

Quantencomputer | Ist die digitale
Privatsphäre schon heute gefährdet?

HIER DOWNLOADEN

KLIMADEBATTE

Und zwei Prozent retten doch die Welt

VON CHRISTIAN SCHWÄGERL



SEM JON SALIWANTSCHUK (СЕМЕН САЛИВАНЧУК) / STOCK.ADOBE.COM

Auf das bisschen Kohlendioxid, das wir Deutschen in die Atmosphäre pusten, kommt es doch nicht an, oder? Doch. Das populärste Argument gegen mehr Klimaschutz – und seine Entkräftung.

Deutschland verursacht doch nur zwei Prozent der weltweiten CO₂-Emissionen – wenn wir die einsparen, retten wir damit nicht die Welt!« Das klingt im ersten Moment überzeugend. Was sollte das kleine Deutschland, in dem nur jeder hundertste Mensch lebt, schon weltweit ausrichten können? Was soll es ändern, wenn ein so verschwindend geringer Anteil an den globalen Emissionen ein bisschen weiter schrumpft?

Das Argument ist beliebt und funktioniert gut, weil es das eigene Handeln be-

Christian Schwägerl ist Journalist, Buchautor und Mitgründer von »RiffReporter«. Von ihm stammen die Bücher »Menschenzeit« über das Anthropozän, »11 drohende Kriege« über globale Konfliktrisiken und »Analoge Revolution« über die Zukunft digitaler Technologien.

deutungslos erscheinen lässt. Gleichzeitig stellt es Menschen und Organisationen, die sich für Klimaschutz einsetzen, als realitätsfern dar.

Man kann das Argument aber auch anders betrachten.

Deutschland gehört zu den Top Ten der CO₂-Verursacher

Von allen mehr als 200 Nationen weltweit gehört Deutschland mit einem Anteil von zwei Prozent an den derzeitigen Treibhausgasemissionen nicht in die Kategorie »bedeutungslos«. Vielmehr belegt es beim energiebedingten CO₂-Ausstoß unter allen Ländern den siebten Platz nach China, den USA, Indien, Russland, Japan und dem Iran – noch vor Saudi-Arabien und Indonesien. Als »energiebedingt« gelten Emissionen aus der Verbrennung

von Erdöl, Kohle und Erdgas, etwa in Fabriken, Autos und zur Erzeugung von Wärme. Nicht darunter fallen zum Beispiel Emissionen aus der Landnutzung wie der Trockenlegung von Mooren.

Die Länder auf den vordersten sechs Plätzen dieser Top Ten haben entweder eine vielfach größere Bevölkerung wie China und Indien, eine deutlich größere Volkswirtschaft wie die USA oder eine große eigene Produktion fossiler Brennstoffe wie Russland und der Iran. Bezieht man auch alle Emissionen mit ein, die durch die Änderung der Landnutzung entstehen, etwa die Rodung von Wäldern, rücken Brasilien und Indonesien auf Platz fünf und sechs vor. Deutschland gehört aber auch dann auf Platz neun weiter zu den Top Ten – und damit zu den für den Klimawandel besonders verantwortlichen Ländern.

Auch zwei Prozent sind eine enorme Menge

Von deutschem Boden gelangten 2022 insgesamt 746 Millionen Tonnen Kohlen-

dioxid in die Atmosphäre. Darin eingeschlossen sind auch andere flüchtige Stoffe wie Methan, Distickstoffoxid und fluorierte Gase, deren wärmende Wirkung in die von Kohlendioxid umgerechnet und als CO₂-Äquivalent angegeben wird. Diese anderen Treibhausgase machen etwa zehn Prozent der Gesamtmenge aus.

Weil Treibhausgase unsichtbar sind, fällt es schwer, sich unter den 746 Millionen Tonnen etwas vorzustellen. Doch es handelt sich bei den deutschen Emissionen um eine beachtliche Menge. Sie wiegt zum Beispiel 20-mal mehr, als Deutschland als wichtigster Produzent in der EU im Jahr 2022 an Rohstahl hergestellt hat. Ein drei Meter tiefer und 20 Meter breiter Swimmingpool, der dieses Gewicht an Wasser aufnehmen soll, wäre rund 12 400 Kilometer lang. Man könnte in so einem Pool von Deutschland aus nach Santiago de Chile oder bis knapp vor die Nordspitze von Australien schwimmen.

Wenn man die deutschen CO₂-Emissionen des vergangenen Jahres als reines Gas in einen Behälter packen woll-

te, bräuchte man dafür eine Kugel mit einem Durchmesser von knapp neun Kilometern. Das imposante Gebilde würde fast bis hinauf zur Flughöhe von Passagiermaschinen reichen. Würde CO₂ nicht in die Atmosphäre entweichen, sondern sich über dem Boden sammeln, wäre ganz Deutschland von einer einen Meter dicken Schicht aus Kohlendioxid bedeckt – allein mit den Emissionen von 2022. Es geht also um eine große Menge an Gas, die durch die Verbrennung fossiler Brennstoffe und durch andere Prozesse in Deutschland entsteht. Nur im Verhältnis zur noch größeren globalen Gesamtmenge der Emissionen kann sie klein wirken.

CO₂-Emissionen reichern sich in der Atmosphäre an

Im Gegensatz zu vielen anderen Stoffen, die im Boden gebunden oder mit der Zeit biologisch oder chemisch abgebaut werden, reichern sich die CO₂-Emissionen kontinuierlich in der Atmosphäre an. Ozeane und Vegetation nehmen

zu wenig davon auf, um das zu verhindern. Einmal in der Lufthülle, tragen sie für viele hundert Jahre zur Erwärmung bei. Die Menschheit hat seit Beginn der Industrialisierung rund 2500 Milliarden Tonnen Kohlendioxid freigesetzt. Das hat den CO₂-Gehalt der Atmosphäre von 278 ppm (Teile pro Million) im Jahr 1750 auf 415 ppm im Jahr 2021 steigen lassen – und zu einer durchschnittlichen Erwärmung von bereits einem Grad Celsius geführt.

Deutschland hat Analysen des Global Carbon Project zufolge seit 1871 insgesamt knapp 98 Milliarden Tonnen zu diesen Gesamtemissionen beigetragen – also etwa so viel wie die ganze Welt heute in drei Jahren. Das sind knapp vier Prozent der so genannten »historischen Emissionen«. Jedes 25. zusätzliche Kohlendioxidmolekül (genauer: CO₂-Äquivalent) in der Atmosphäre stammt also aus Deutschland. Im internationalen Gesamtranking steht die Bundesrepublik damit bei den energiebedingten historischen Emissionen auf Platz vier nach den USA, Chi-

na und Russland – also wieder ganz weit vorne.

Das liegt vor allem an der frühen und intensiven Nutzung von Kohle zur Stromproduktion und der Verhüttung von Erzen. Alle bisherigen Emissionen von deutschem Boden aus tragen zum weltweiten CO₂-Anstieg von 137 ppm mit 5 bis 6 ppm bei. Das ist ein hoher Wert. Und es kommt noch wie vor sehr viel Kohlendioxid hinzu. Bis zum geplanten Nullpunkt im Jahr 2045 sieht die optimistischste Planung der Bundesregierung noch Emissionen von 7,8 Milliarden Tonnen vor. Wenn man bisherige Relationen zu Grunde legt, reicht das für einen Zuwachs von weiteren 0,5 ppm weltweit.

»Aber China und Indien ...«

Es stimmt, dass Deutschland unter den aktuellen Top Ten der CO₂-Verursacher deutlich hinter Ländern wie China, Indien und den USA liegt. China ist für rund 30 Prozent der Emissionen verantwortlich, die USA für zwölf Prozent, Indien für sieben Prozent und Russland

für knapp fünf Prozent. Vor allem in Indien und China haben die Emissionen zudem seit 1990 drastisch zugenommen, in China haben sie sich in der Zeit mehr als vervierfacht. Ohne dass diese Länder ihre Treibhausgasemissionen reduzieren, ist weltweiter Klimaschutz nicht machbar.

Es hat allerdings auch nie jemand behauptet, dass Deutschland das Weltklima im Alleingang retten und das im Klimavertrag von Paris formulierte Ziel erreichen kann, die Erderwärmung möglichst unter 1,5 Grad, in jedem Fall aber unter zwei Grad Celsius gegenüber der vorindustriellen Zeit zu halten. Deutschland hat nur sehr begrenzte Möglichkeiten, China oder die USA in der Klimapolitik zu etwas zu zwingen. Das gilt aber auch umgekehrt – jedes Land ist eben für seine eigene Politik verantwortlich.

Wichtig ist zudem, die Zahlen ins Verhältnis zu setzen. China und Indien haben jeweils 1,4 Milliarden Einwohner, Deutschland dagegen nur 84 Millionen. Wenn Klimaschutz-Gegner hier zu Lande

STAU AUF DER AUTOBAHN | Der Verkehrssektor trägt etwa ein Fünftel zu den gesamten deutschen Treibhausgasemissionen bei.



ihr 2-Prozent-Argument bemühen, dann können Inder und Chinesen darauf hinweisen, dass in ihren beiden Ländern zusammen 35 Prozent aller Menschen leben, in Deutschland nur ein Prozent. Indien kann zudem argumentieren, dass der Pro-Kopf-Ausstoß des Landes mit 2,5 Tonnen dreieinhalbmal niedriger ist als der in Deutschland. Die historischen Gesamtemissionen Indiens aus der Verbrennung von Erdöl, Kohle und Erdgas betragen mit 57 Milliarden Tonnen sogar nur 61 Prozent der bisherigen deutschen Gesamtmenge. China kann mit seinem Pro-Kopf-Ausstoß von 9,9 Tonnen vorbringen, dass der deutsche Wert auch erst seit 2019 unter diese Marke gesunken ist.

Und man darf nicht vergessen: Die deutsche Wirtschaft importiert in großem Umfang Güter aus China und anderen Ländern, für deren Produktion dort Kohlendioxid freigesetzt wird. Deutschland bezieht etwa mehr Waren aus China als umgekehrt. Werden lediglich die industriellen Güter betrachtet, exportiert Deutschland nach Analysen des Bundes-

amts für Statistik zwar mehr CO₂-Emissionen, als es importiert. Nimmt man aber landwirtschaftliche Importe zum Beispiel von Soja aus Südamerika hinzu, erhöht sich der gesamte deutsche CO₂-Ausstoß nach Berechnungen des Nachhaltigkeitsforschers Marco Schmidt von der Hochschule Pforzheim um ein Drittel. An einem Wirtshaustisch in São Paulo könnte also mit einem Recht der Spruch fallen, dass man diesen Teil der brasilianischen Emissionen doch bitte Deutschland zuschreiben solle.

Viele Länder und Regionen könnten das 2-Prozent-Argument einsetzen

Viele Länder, Bundesstaaten und Regionen der Welt verursachen auch nur wenige Prozent der weltweiten CO₂-Emissionen. Unter allen Staaten ist Deutschland am besten mit Japan vergleichbar. Die Inselnation gehört zu den führenden Industrienationen und setzt mit einer zahlenmäßig etwas größeren Bevölkerung rund 1,1 Milliarden Tonnen CO₂ pro Jahr frei. Gegner von Klimaschutz-

maßnahmen in Japan könnten leicht abgewandelt argumentieren: »Japan verursacht doch nur drei Prozent der weltweiten Emissionen!«

Ähnlich verhält es sich mit Provinzen oder Bundesstaaten in deutlich größeren Ländern. Die knapp 85 Millionen Menschen in der chinesischen Provinz Jiangsu – einer wichtigen Industrieregion nördlich von Shanghai – sind ein perfektes Spiegelbild Deutschlands: Bevölkerung und CO₂-Ausstoß sind nahezu identisch. »Aber Jiangsu verursacht doch nur zwei Prozent der weltweiten Emissionen« ist deshalb ein ebenso stichhaltiger Grund, Klimaschutz in diesem Teil Chinas einzustellen, wie in Deutschland. Noch leichter haben es die Kalifornier, die mit dem Argument, dass sie »nur ein Prozent der weltweiten Emissionen verursachen«, Klimaschutzmaßnahmen einstellen könnten. Frankreich und Polen könnten dem folgen, »weil wir doch nur halb so viel emittieren wie Deutschland«. Flugzeuge tragen weltweit auch »nur« mit zwei Prozent zu den CO₂-Emissionen

bei. Wenn jede Branche oder jedes Land mit zwei Prozent der Emissionen das Nur-Argument nutzt, stünde der Klimaschutz still.

Beim internationalen Klimaschutz müssen alle Länder mitmachen

Ja, zwei Prozent der weltweiten Emissionen sind nur ein Fünfzigstel des Problems, aber es ist jener Teil des Problems, für den Deutschland die Verantwortung übernommen hat. Für die weiteren 98 Prozent haben andere Länder das getan – und hier liegt der Kern weltweiter Klimapolitik. Vom ersten Weltklimagipfel 1995 in Berlin bis zur Klimakonferenz von Paris 2015 vergingen 20 Jahre, in denen die Staaten der Erde sich Jahr für Jahr gegenseitig die Schuld zugewiesen und stets aufs Neue wiederholt haben, dass sie selbst nur etwas tun werden, wenn die anderen auch etwas tun. Dieses Argument flog zwischen Industriestaaten, aufstrebenden Ländern und Entwicklungsländern hin und her, man blockierte sich gegenseitig.

Der Klimavertrag von Paris brachte zwei revolutionäre Durchbrüche. Der erste ist, dass er zwei handfeste Ziele setzt: das 1,5-Grad-Ziel und das Ziel, in der zweiten Hälfte des laufenden Jahrhunderts global betrachtet Klimaneutralität zu erreichen. Ab dann darf also nicht mehr Kohlendioxid freigesetzt werden, als Wälder und andere so genannte Senken wieder aufnehmen. Der zweite große Durchbruch bestand darin, dass nicht mehr nur ausgewählte Industrieländer Klimaschutzpflichten übernehmen, sondern alle Staaten der Erde. Die Unterzeichner haben sich völkerrechtlich verpflichtet, so genannte »nationale Klimabeiträge« zu erbringen und regelmäßig über ihre Bemühungen zu berichten. Diese Reports müssen dem Vertrag zufolge jeweils Fortschritte darlegen und von »größtmöglichen Ehrgeiz« geprägt sein.

Das bedeutet nicht, dass arme Länder sofort ihre CO₂-Emissionen reduzieren müssen. Sie müssen sich aber mit Blick auf ihre künftige Energieversorgung um erneuerbare Quellen und die dafür nötigen Mittel kümmern. Es bedeutet auch nicht, dass der Vertrag die CO₂-Minderung erzwingen kann. Doch der Vertrag von Paris schafft den einzigen verlässlichen Rahmen für einen weltweit koordinierten Kraftakt, die Lebensbedingungen der Menschheit zu erhalten.

Den reichen Ländern mit hohem CO₂-Ausstoß kommt dabei eine besonders wichtige Rolle zu: Erfolg ist nur möglich, wenn sie dabei vorangehen, ihren CO₂-Ausstoß zu reduzieren, und wenn sie zudem ärmere Länder beim Umstieg auf umweltfreundliche Technologien und Entwicklungspfade unterstützen. Sollten sich zum Beispiel die USA, Deutschland, Japan und Südkorea von ihren Klimazielen verabschieden, würde der Klimavertrag faktisch in sich zusammenbrechen. Denn ärmere und aufstrebende Länder schauen genau hin, was die reichen Länder tun. Deutschland muss sich gar nicht als Vorbild in Szene setzen und kann darauf verzichten, grüne Heilserwartungen zu wecken. Vielmehr steht bei den Klimazielen die Glaubwürdigkeit auf

dem Spiel – und von ihr hängt mit ab, ob die Weltgemeinschaft es schafft, ihre Lebensbedingungen vor dem Schlimmsten zu bewahren – auch die in Deutschland.

Viele andere Länder tun mehr

Hartnäckig hält sich hier zu Lande die Behauptung, Deutschland wäre im Klimaschutz besonders aktiv oder sogar das einzige Land, das etwas tut. Daher kommt der Satz, Deutschland könne die Welt ja »nicht allein retten«. Davon kann aber nicht die Rede sein. Nach Schätzungen der Internationalen Energieagentur werden dieses Jahr weltweit 1700 Milliarden Dollar in erneuerbare Energien investiert und damit 700 Milliarden Dollar mehr als in fossile Energien. In 86 von rund 200 Ländern sind die energiebedingten CO₂-Emissionen seit 2010 gesunken.

In einer Reihe von Ländern stecken dahinter eine vorausschauende Klimapolitik und der Ausbau von erneuerbaren Energien. Länder wie Dänemark, Großbritannien, Finnland, Italien und Portugal haben ihren Kohlendioxidausstoß be-

reits erheblich gesenkt. Aber auch in den energiehunggrigen USA sind die Emissionen seit 2010 um 15 Prozent gesunken. So ist zum Beispiel ausgerechnet in Texas, das als Hochburg fossiler Energieträger gilt, der Anteil von Strom aus Wind und Sonnenenergie zwischen 2010 und 2022 von acht Prozent auf 31 Prozent gestiegen. Tulsa, die frühere »Hauptstadt des Erdöls«, wird gerade zum Zentrum für grüne Technologien. Der Ausbau erneuerbarer Energien im Rahmen des von Präsident Biden verkündeten riesigen Anti-Inflations-Pakets IRA gehört zu den Treibern des Wirtschafts- und Jobwachstums in den USA.

In China kommt der Ausbau erneuerbarer Energien so schnell voran, dass das Land das von der Regierung vorgegebene Ziel für 2030 schon vorher erreicht hat. Die installierte Kapazität für Solarenergie ist inzwischen in China größer als im Rest der Welt zusammengenommen. Trotz all dieser Bemühungen nehmen aber die weltweiten Emissionen bislang zu – was Klimaforschern große Sorge be-

reitet. Alle Länder, die ihren CO₂-Ausstoß erfolgreich reduzieren, sind Gold wert in einer Situation, in der UN-Generalsekretär vor einer »Ära des globalen Kochens« warnt.

Ein schwaches Argument

Das »Zwei-Prozent-Argument« ist also insgesamt sehr schwach. Eigentlich sollte auch jeder wissen, dass es in keinem anderen Lebensbereich funktionieren würde. Die Kfz-Steuer, die Versicherungssteuer, die Tabaksteuer und der Solidaritätszuschlag machen jeweils weniger als zwei Prozent des deutschen Steueraufkommens aus. Kann man deshalb argumentieren, dass es sich ja nicht lohnt, sie zu erheben oder sie zu bezahlen? Auf Spareinlagen bekommt man bei manchen Banken endlich wieder zwei Prozent Zinsen. Würde man auf eine Auszahlung verzichten, weil es ja »nur zwei Prozent« sind? Das wäre ebenso absurd, wie alle anderen internationalen Aktivitäten einzustellen, für die Deutschland nur zu zwei Prozent verantwortlich ist.

Die entscheidende Frage ist vielmehr, was man in einem Gedankenspiel tun würde, in dem man an der Spitze einer fiktiven Weltregierung wirklich für 100 Prozent des Problems verantwortlich wäre. Antwort: Auch dann wäre es wissenschaftlich geboten zu tun, was der Paris-Vertrag vorschreibt, und eine schnellstmögliche Reduktion des CO₂-Ausstoßes in Richtung null zu forcieren. Für die deutsche Klimapolitik wäre das praktische Ergebnis also dasselbe, ob das Land nun für 2 oder für 100 Prozent der Emissionen verantwortlich ist. Dass in manchen Ländern die Emissionen weiter steigen, ist eher ein Grund mehr, noch drastischer zu reagieren als bisher – denn unter den Folgen des wachsenden CO₂-Gehalts in der Atmosphäre und den Meeren werden alle leiden.



Verzahnung
von **Klima-** und
Naturschutz

KLIMANEUTRALITÄT

FÜR NUR
€ 4,99

Weltklimarat | Sicher ist, so wird das nichts
Fit for 55 | Klimaschutz auf Kosten der Natur
Wirtschaft | Ist grünes Wachstum möglich?

HIER DOWNLOADEN

PERSÖNLICHKEIT

Wie Psychopathen Karriere machen

VON DAVID ADAM



Psychopathen sind böse? Stimmt nicht unbedingt. Viele von ihnen leben unbemerkt unter uns. Und ihre Kühnheit kann ihnen sogar zu beruflichem Erfolg verhelfen.

Wer sich einen Psychopathen vorstellt, denkt an Bösewichte aus Hollywoodfilmen wie den Serienmörder Hannibal Lecter aus dem Psychothriller »Das Schweigen der Lämmer« oder den emotionslosen Auftragskiller Anton Chigurh aus »No Country for Old Men«. Doch es gibt nicht nur solche extremen Psychopathen, sondern auch Menschen mit weniger ausgeprägten psychopathischen Tendenzen. Und vielleicht sitzt gerade einer neben Ihnen.

Manche Psychologen sind der Meinung, der Fokus auf gewalttäiges und kriminelles psychopathisches Verhalten habe die Untersuchung von – wie sie es nennen – »erfolgreichen Psychopathen«

in den Hintergrund gedrängt. Es gibt nämlich Menschen, die zwar psychopathische Tendenzen haben, aber Problemen aus dem Weg gehen können und vielleicht sogar von ihren psychopathischen Eigenschaften profitieren.

Noch sind sich Forschende nicht einig, welche Merkmale erfolgreiche Psychopathen von Serienmördern unterscheiden. Doch sie arbeiten daran, diesen – ihnen zufolge – »missverstandenen Teil des menschlichen Verhaltens« zu begreifen. Einige möchten sogar das Konzept der Psychopathie neu definieren und rehabilitieren.

»Der Großteil dessen, was die Leute über Psychopathen denken, entspricht nicht dem, was Psychopathie eigentlich ist«, sagt Louise Wallace, Dozentin für forensische Psychologie an der University

David Adam arbeitet als Journalist in London.



PICT RIDER / STOCK.ADOBE.COM

of Derby in England. »Es ist nicht glamourös. Es ist nicht spektakulär.« Bis zu einem gewissen Grad habe jeder Mensch psychopathische Züge. Und diese sollten weder verherrlicht noch stigmatisiert werden, sagt sie.

Die Untersuchung erfolgreicher Psychopathen führt zu den Anfängen des Fachgebiets zurück. In seinem Buch »The Mask of Sanity«, zu Deutsch »Die Maske der Vernunft«, aus dem Jahr 1941 beschreibt der einflussreiche US-Psychiater Hervey Cleckley das Persönlichkeitsprofil eines Psychopathen folgendermaßen:

eine oberflächlich charmante, aber egozentrische und nicht vertrauenswürdige Person mit einem antisozialen Kern. Seine Erkenntnisse bezog Cleckley, der später auch den berüchtigten Serienmörder Ted Bundy als Psychopathen identifizierte, von Menschen aus Psychiatrien. Zu seinen Beschreibungen von Psychopathen gehörten jedoch ebenso Menschen, die ihre Bösartigkeit verbergen konnten. Er skizzierte zum Beispiel das Profil eines psychopathischen Geschäftsmanns, der hart arbeitete und bis auf eheliche Untreue, Gefühllosigkeit, ungezügeltes

»Der Großteil dessen, was die Leute über Psychopathen denken, entspricht nicht dem, was Psychopathie eigentlich ist«

Louise Wallace, forensische Psychologin an der University of Derby in England

Trinken und ausgeprägte Risikobereitschaft normal wirkte.

In den folgenden Jahrzehnten widmete sich die Wissenschaft der Psychopathie oft am Beispiel von Gefängnisinsassen und verknüpfte, angestachelt durch reißerische Darstellungen in Büchern und Filmen, das ursprünglich von Cleckley entworfene psychopathische Profil mit gefährlichen und gewalttätigen Kriminellen. Diese Sichtweise wird inzwischen hinterfragt. In den vergangenen 15 Jahren hat sich in der Psychiatrie der so genannte dimensionale Ansatz durch-



GESCHÄFTSLEUTE IM MEETING | Erfolgreiche Psychopathen geben sich nicht so leicht zu erkennen. (Symbolbild)

»Die meisten psychopathischen Personen leben unter uns«

Désiré Palmen, klinische Psychologin an der Avans University of Applied Sciences in den Niederlanden

gesetzt: Er beruht auf der Idee, dass sich die Ausprägung von individuellen Merkmalen wie Psychopathie über ein kontinuierliches Spektrum verteilt. Damit wurde der kategorische Ansatz abgelöst, der lediglich beurteilt, ob eine Störung vorliegt oder nicht.

Als Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler die Psychopathie aus dieser Perspektive betrachteten, öffneten sich ihnen neue Türen. Sie mussten nicht mehr in Gefängnisse gehen, rekrutierten stattdessen Menschen aus der Allge-

meinbevölkerung und untersuchten diese auf psychopathische Züge. So erfuhren sie etwas über das Verhalten und die Biologie »normaler« Menschen mit milder oder erfolgreicher Psychopathie. »Die meisten psychopathischen Personen leben unter uns«, sagt Désiré Palmen, Forcherin für klinische Psychologie an der Avans University of Applied Sciences in den Niederlanden.

Psychopathie setzt sich aus mehreren Eigenschaften zusammen, die sich gegenseitig beeinflussen. Das traditionel-

le Modell der Psychopathie als schwere Form einer antisozialen Persönlichkeitsstörung konzentriert sich auf die beiden Charaktereigenschaften Rücksichtslosigkeit und Enthemmung. Psychologisch gesehen steckt hinter ihrem rücksichtslosen Verhalten ein aggressives Streben nach eigenen Vorteilen, ohne Rücksicht auf Mitmenschen. Enthemmung wiederum äußert sich in mangelnder Impulskontrolle. Personen, bei denen beide Merkmale besonders ausgeprägt sind, empfinden wenig oder gar kein Mitge-



DMYTRO / STOCK.ADOBE.COM

fühl und haben Schwierigkeiten, ihre Handlungen zu kontrollieren, was oft in Gewalt mündet.

Das übersehene Merkmal von Psychopathen

Im Zuge dieses jüngsten Umdenkens haben Psychologen ein neues Persönlichkeitsmerkmal eingeführt: Kühnheit. Diese definieren sie als eine Mischung aus Dominanzverhalten, emotionaler Belastbarkeit und Risikobereitschaft. »Man kann sich Kühnheit als Furchtlosigkeit vorstellen, die sich in der Interaktion mit anderen Menschen ausdrückt. Man lässt sich nicht so leicht einschüchtern, ist durchsetzungsfähiger und sogar dominant gegenüber anderen Menschen«, erklärt der Psychopathieforscher Christopher Patrick von der Florida State University. In einem Artikel aus dem Jahr 2022 betonte der US-Psychologe die Rolle der Kühnheit für die Psychopathie.

Eine kühne Person ist natürlich nicht unbedingt ein Psychopath. Aber gepaart mit Rücksichtslosigkeit und Hemmungs-

losigkeit kann ein Psychopath sein ausgeprägtes Selbstvertrauen nutzen, um sich in Führungspositionen zu profilieren, argumentiert Patrick. Es könnte sogar sein, dass das Maß an Kühnheit bestimmt, ob jemand mit typisch psychopathischen Zügen sein Leben erfolgreich gestalten kann oder nicht.

Denn in bestimmten Berufen können die Merkmale durchaus von Vorteil sein. Rücksichtslosigkeit etwa äußert sich häufig in mangelnder Empathie. »In der Geschäftswelt braucht man jemanden, der unter Druck arbeiten und schnell entscheiden kann – ohne viel Mitgefühl, damit er auch in der Lage ist, seine Entscheidungen rücksichtslos zu treffen«, sagt Wallace.

Eine Studie aus dem Jahr 2016 an Mitarbeitern einer australischen Werbeagentur ergab beispielsweise, dass leitende Angestellte verglichen mit ihren Mitarbeitern mehr Verhaltensweisen zeigten, die für Psychopathen typisch sind – darunter charmant, souverän und gelassen zu sein, aber auch egozentrisch und un-

barmherzig. Sie machten sich selbst außerdem weniger Vorwürfe.

Weitere Forschung legt nahe, dass die Art und Weise, wie in Stellenanzeigen der ideale Kandidat für eine Führungskraft beschrieben wird, besonders Menschen mit psychopathischen Zügen anspricht. Ein britisches Unternehmen suchte 2016 per Anzeige wörtlich einen »Psychopathic New Business Media Sales Executive Superstar«. In der Beschreibung wurde behauptet, dass einer von fünf CEOs ein Psychopath sei und deshalb ein Bewerber mit diesen Eigenschaften gesucht werde.

Manche denken sogar, dass psychopathische Züge und damit verbundene Charaktereigenschaften wie Furchtlosigkeit und Narzissmus Menschen zu mutigen Taten prädestinieren. Eine Studie aus dem Jahr 2018 ergab beispielsweise, dass Einsatzkräfte der Polizei, Feuerwehr und anderer Rettungsdienste einerseits mehr zu Altruismus neigten als die Allgemeinbevölkerung, andererseits auch vermehrt zu psychopathischen Eigenschaften wie Furchtlosigkeit und Kühnheit.

»Im Moment gleicht die Forschung zur erfolgreichen Psychopathie einem Stochern im Nebel«

Louise Wallace, forensische Psychologin an der University of Derby in England

Dürfen Psychopathen eine gute Seite haben?

Die Vorstellung, dass einige psychopathische Eigenschaften positiv sein könnten, gefällt nicht allen. »Es gab einen großen, großen Streit darüber«, sagt Klaus J. Templer, Berater für Organisationspsychologie, der früher an der Singapore University of Social Sciences tätig war. Die Kritiker würden bemängeln, dass damit Kühnheit als psychopathische Eigenschaft definiert werde, sagt Templer. In einer Studie aus dem Jahr 2021 wurden mehr als 1000 Schülerinnen und Schüler gebeten, Aussagen zu beurteilen, die



für Psychopathen typisch sind: »Es ist mir egal, wenn jemand verletzt wird, den ich nicht mag« (Rücksichtslosigkeit), »Ich habe jemandem Geld aus der Tasche genommen, ohne zu fragen« (Enthemmung) und »Ich bin der geborene Anführer« (Kühnheit). Die Ergebnisse deuten darauf hin, dass ein erhöhtes Maß an Rücksichtslosigkeit und Enthemmung ausreicht, um die von manchen Kindern selbst berichteten antisozialen Verhaltensweisen wie Regelverstöße, Aggressionen und Drogenkonsum zu erklären. Mit anderen Worten: Kühnheit war dafür weitgehend irrelevant.

Patrick glaubt allerdings, dass es in manchen Fällen doch Kühnheit braucht: dann, wenn Menschen, die überdurchschnittlich rücksichtslos und hemmungslos sind, nicht wegen ihres Verhaltens in Schwierigkeiten geraten. Einige Untersuchungen deuten darauf hin, dass sich Kühnheit günstig auf das Wohlbefinden und das Verhalten am Arbeitsplatz auswirken kann. Auch wenn diese erfolgreichen Psychopathen irgendwann doch Probleme bekommen: Anfangs wirken sie durchsetzungsfähig und kompetent. »Es fällt ihnen leichter, mit Leuten zu plaudern, sie auszunutzen«, sagt Patrick. »Kühnheit macht hier den Unterschied.«

Ein Großteil der Debatte sei daraus entstanden, dass sich die Beurteilung und Diagnose von Psychopathie traditionell auf Studien mit gewalttätigen oder kriminellen Menschen stützt, sagt Wallace. »Sobald man Psychopathie als eine klinische Störung bezeichnet, die durch extreme Gewalt gekennzeichnet ist, werden alle positiven Eigenschaften in den Hintergrund gedrängt«, findet sie. »Und jetzt

machen die Forscher einen kleinen Rückzieher und sagen: ›Moment mal, was ist mit all den guten Eigenschaften?««

Ein Problem liegt ihrer Meinung nach darin, dass Fachleute bislang über keinen Fragebogen verfügen, der auch die positiven Seiten der Psychopathie erfasst, sondern nur ein Tool zur Identifizierung schwerer Fälle – eine Checkliste, die sich auf die Folgen von Enthemmung und Rücksichtslosigkeit konzentriert. Sie wurde von dem kanadischen Psychologen Robert Hare entwickelt und 2011 in dem Buch »The Psychopath Test« von Jon Ronson verewigt.

Um diese Lücke zu schließen, wirkte Wallace an der Entwicklung der »Successful Psychopathy Scale« mit: einer Liste mit 54 Fragen, die psychopathische Züge in der Allgemeinbevölkerung erfassen soll. Die Skala fragt etwa danach, ob man Aussagen wie »Erfolg zu haben, kann hart sein; es geht nur um das Überleben des Stärkeren« zustimmen würde. Wallace hofft, dass die Skala Fachleuten künftig helfen wird, psychopathische Züge bei

Menschen in Macht- und Führungspositionen zu erkennen. »Eine solche Skala wird gebraucht, denn im Moment gleicht die Forschung zur erfolgreichen Psychopathie einem Stochern im Nebel«, sagt sie. Um die Forschung voranzutreiben, müsse man sie messen können.

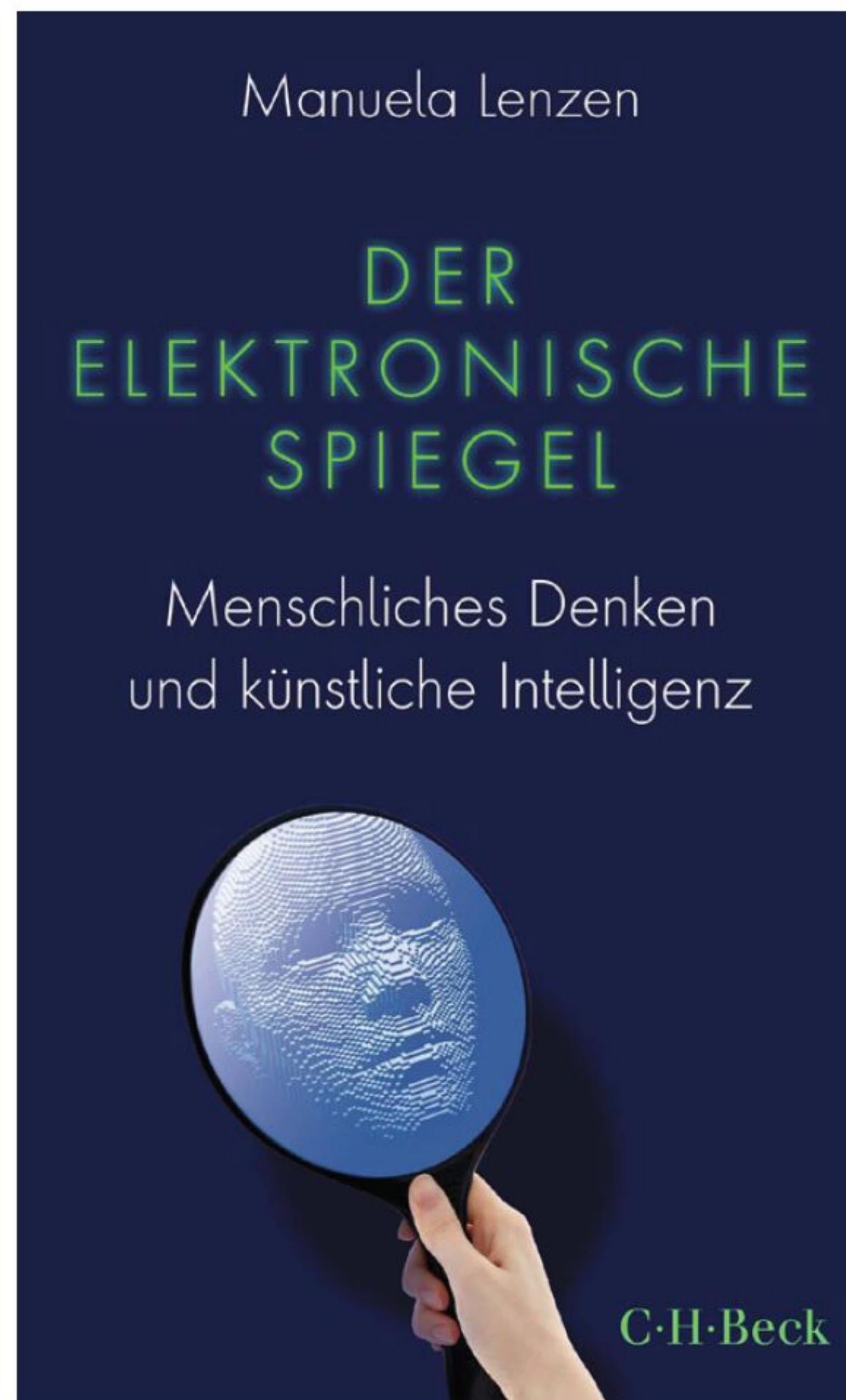
Wallace hofft, ihre Skala könne am Ende zu der Erkenntnis beitragen, dass eine Person mit psychopathischen Zügen nicht zwangsläufig jemand ist, vor dem man Angst haben muss. »Es gibt so vieles, was wir über Menschen mit ausgeprägten psychopathischen Zügen nicht wissen – etwa wie sie ihren Alltag meistern«, sagt sie. »Und das liegt daran, dass wir uns immer noch Hannibal Lecter vorstellen.« ↗

Dieser Artikel erschien ursprünglich im »Knowable Magazine«, einem unabhängigen journalistischen Projekt von »Annual Reviews«.

SCIENTIFIC AMERICAN

© Springer Nature Limited

Scientific American, The psychopathic path to success, 2023



Manuela Lenzen | **Der elektronische Spiegel** | Verlag: C.H. Beck, München 2023 |
ISBN: 9783406792083 | 20,00 € | [bei Amazon.de kaufen](#)

Natürliche und künstliche Intelligenz – wie sie einander bereichern

Mit der Markteinführung des Dialogsystems ChatGPT der Firma OpenAI entdeckten die Medien das Thema künstliche Intelligenz (KI). Ihre Veröffentlichungen reichten von sachlicher Information bis hin zur Darstellung dystopischer Szenarien. Wer sich ein eigenes Bild über aktuelle Möglichkeiten und Grenzen der KI machen will, dem bietet die Wissenschaftsjournalistin und Philosophin Manuela Lenzen Orientierung. In ihrem Buch »Der elektronische Spiegel«

Michaela Sonntag hat Germanistik studiert und arbeitet im IT-Bereich mit Schwerpunkt Risikomanagement.

geht es um Fragen wie: Was ist Intelligenz, was unterscheidet die menschliche und die tierische von der künstlichen Intelligenz, und wie wird Intelligenz in KI-Systemen abgebildet? Mit dieser mehr geisteswissenschaftlich geprägten Herangehensweise ist das Buch auch für nicht IT-affine Leser geeignet.

Ausführlich werden im Buch interdisziplinäre Ansätze aus Fachgebieten wie Kognitionswissenschaft, Entwicklungspsychologie, Neurowissenschaft, Biologie und natürlich Informatik vorgestellt. Die Autorin erzählt von spannenden Versuchen, zum Beispiel, wie die Aufgabe,

eine verschlossene Kiste zu öffnen, von Kakadus und Robotern gelöst wird. Wissenschaftliche Studien könnten nicht nur Antworten geben, wie KI-Systeme zu entwerfen sind, sondern auch dafür sensibilisieren, wie Menschen und Tiere die Welt wahrnehmen.

Die Autorin macht immer wieder deutlich, dass KI heute in vielen Bereichen über die Grundlagenforschung nicht hinausgekommen ist. Die Anforderungen, die KI-Systeme nicht erfüllen können, sind komplexe menschliche Fähigkeiten, wie Motivation, Flexibilität, Erkenntnisinteresse oder interessengeleitetes Handeln. Damit entkräftet Lenzen dystopische Szenarien, dass die Übernahme der Herrschaft über die Welt durch die KI bevorstehe.

Ein weiteres Augenmerk richtet Lenzen auf die Frage, ob KI eine Nachahmung menschlicher Intelligenz sein müsse oder ob mittels alternativer Intelligenz lernende Systeme für Problemlösungen entwickelt würden, ohne die Nachbildung menschliche Intelligenz anzustreben. Als Beispiel für alternative Intelligenz erklärt



VITALII GULENOK / GETTY IMAGES / ISTOCK

die Verfasserin die wesentlichen Prinzipien der großen Sprachmodelle (Large Language Model – LLM), die auch für ChatGPT (Generative Pre-trained Transformer) gelten. Und Lenzen kommt zu

dem Schluss, dass diese Sprachmodelle oft die passenden Antworten generieren; wenn sie aber herausgefordert werden, keine passenden Lösungen finden oder Unsinn produzieren.

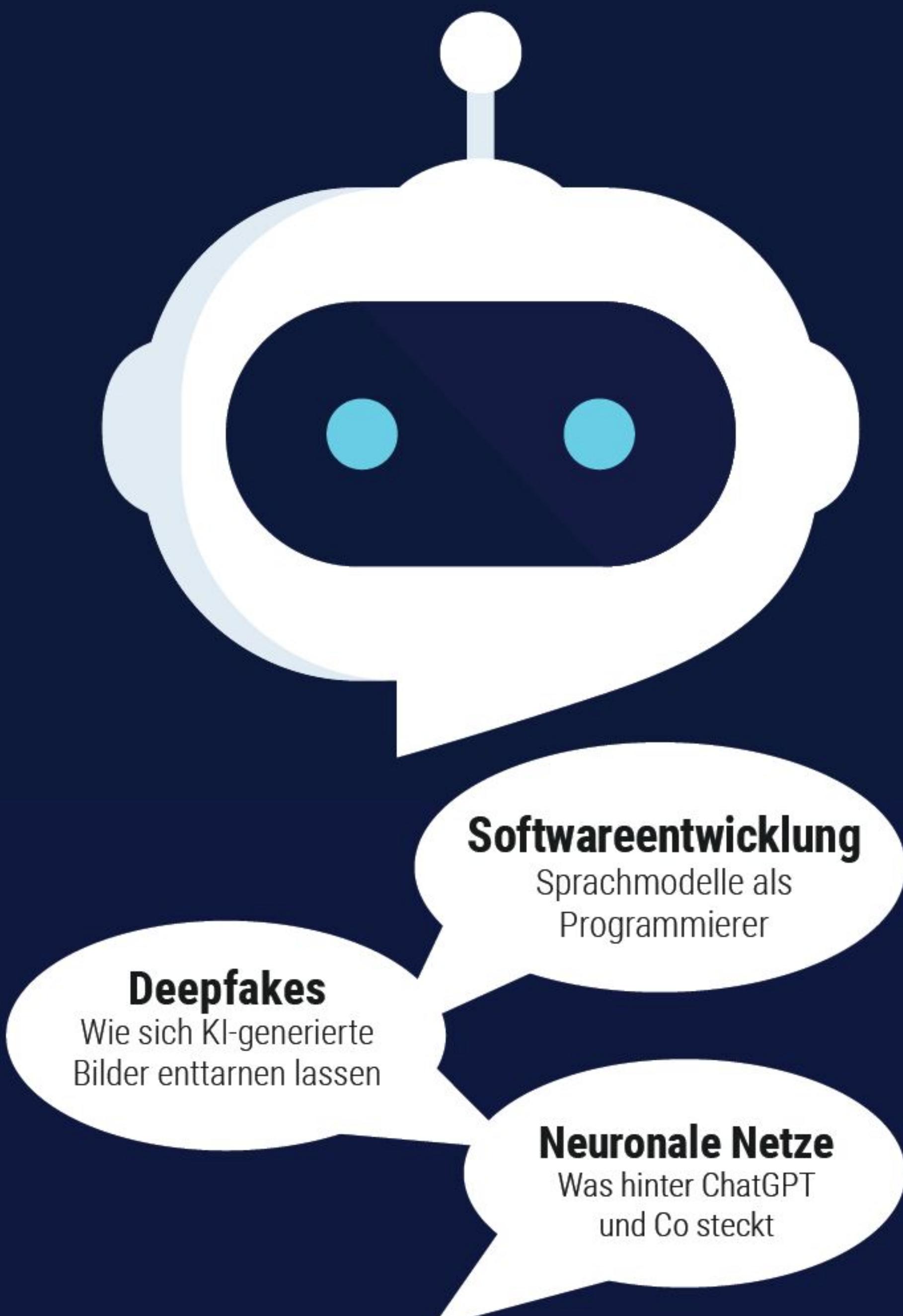
Auch kritischen Fragen weicht Lenzen nicht aus und diskutiert Chancen und Risiken von KI-Systemen. Für einen ethisch vertretbaren Einsatz, der die Reproduktion bestehender Muster und Einseitigkeiten vermeidet, sei ein qualitätsgesichertes Training der Systeme nötig. Nur wenn Menschen die Systeme trainieren, lerne ein Programm, keine unangemessenen Inhalte zu verwenden oder keine einseitigen Entscheidungen zu treffen (Reinforcement Learning from Human Feedback – RLHF).

Leider thematisiert Lenzen nicht, welche Aspekte des Datenschutzes bei der Auswahl von Trainingsdaten eine Rolle spielen müssten.

Da »Der elektronische Spiegel« keinen wissenschaftlichen Anspruch hat, kann man es der Autorin nachsehen, dass wenig Quellennachweise vorhanden sind. Trotzdem wären mehr Referenzen für die Nachvollziehbarkeit wünschenswert. Zum Beispiel im Kapitel »Raus aus dem goldenen Käfig«, in dem Lenzen Benchmarks für Bilderkennungssysteme und

Sprachverarbeitung beschreibt und folgert: »Ein Drittel der Benchmarks, so haben Forschende gefunden, wird überhaupt nicht verwendet, zum Teil werden die Systeme so schnell besser, dass sie die Benchmarks überholen, zum Teil sind diese nicht mehr aktuell, weil inzwischen andere Fähigkeiten gefragt sind, als sie testen können.« Lenzen erklärt nicht, um welche Benchmarks und um welche Studie es sich handelt.

Das in leicht verständlicher Sprache geschriebene Buch ist eine anregende und informative Lektüre, die hilft, den aktuellen Status der KI einzurichten. Es bietet einen guten Einstieg, um sich intensiver mit künstlicher Intelligenz zu beschäftigen. Darüber hinaus kann das Interesse geweckt werden, sich näher mit der vielfältigen Forschung zu Intelligenz zu beschäftigen. ↪



KÜNSTLICHE GESPRÄCHE

Kommunikation mit KI-Chatbots

HIER DOWNLOADEN



DIE FABELHAFTE WELT DER MATHEMATIK



Das Ziegenproblem: Sollte man sich entscheiden?

Es ist eines der berühmtesten Probleme aus der Spieltheorie: Ist die Gewinnchance größer, wenn man sich entscheidet oder bei seiner ursprünglichen Antwort bleibt?

WEISENBERN DIETRICH / STOCK.ADOBE.COM

VON MANON BISCHOFF

Wie so vielen anderen, fiel es mir anfangs schwer, die Antwort auf das Ziegenproblem zu glauben. Nicht umsonst gilt es als eines der am wenigsten intuitiven Ergebnisse der Mathematik. Die Situation ist folgende: Sie nehmen an einer Spielshowteil, bei der sich hinter einer von drei Türen ein attraktiver Preis (in der ursprünglichen Fragestellung ein Sportwagen) und hinter den zwei anderen Nieten (in diesem Fall Ziegen) befinden. Als Kandidat dürfen Sie eine Tür wählen, die zunächst verschlossen bleibt. Der Moderator öffnet aber eine der beiden anderen Türen und offenbart eine Ziege. Nun stellt er Sie vor die Wahl. Möchten Sie hinter die von Ihnen ausgewählte Tür blicken, oder entscheiden Sie sich lieber um und schauen, was sich hinter der anderen verbirgt? Wie würden Sie sich entscheiden?

Wenn man zum ersten Mal von dem Problem hört, neigt man dazu, anzunehmen, dass es wohl keinen Unterschied macht, ob man sich entscheidet oder nicht. Zwei verschlossene Türen sind schließlich übrig, hinter einer versteckt sich der Preis. Daher müsste die Wahrscheinlichkeit, die richtige Wahl zu treffen, einhalb betragen. Wenn Sie ebenfalls dieser Meinung sind, stehen Sie damit nicht allein: In einer Studie mit 228 Personen, die mit dem Problem nicht vertraut waren, vertraten 87 Prozent diesen Standpunkt. Doch das ist falsch. Wie sich herausstellt, hat man eine doppelt so hohe Gewinnchance, wenn man sich entscheidet.

Viele Menschen denken, Mathematik sei kompliziert und öde. In dieser Serie möchten wir das widerlegen – und stellen unsere liebsten Gegenbeispiele vor: von schlechtem Wetter über magische Verdopplungen hin zu Steuertricks.

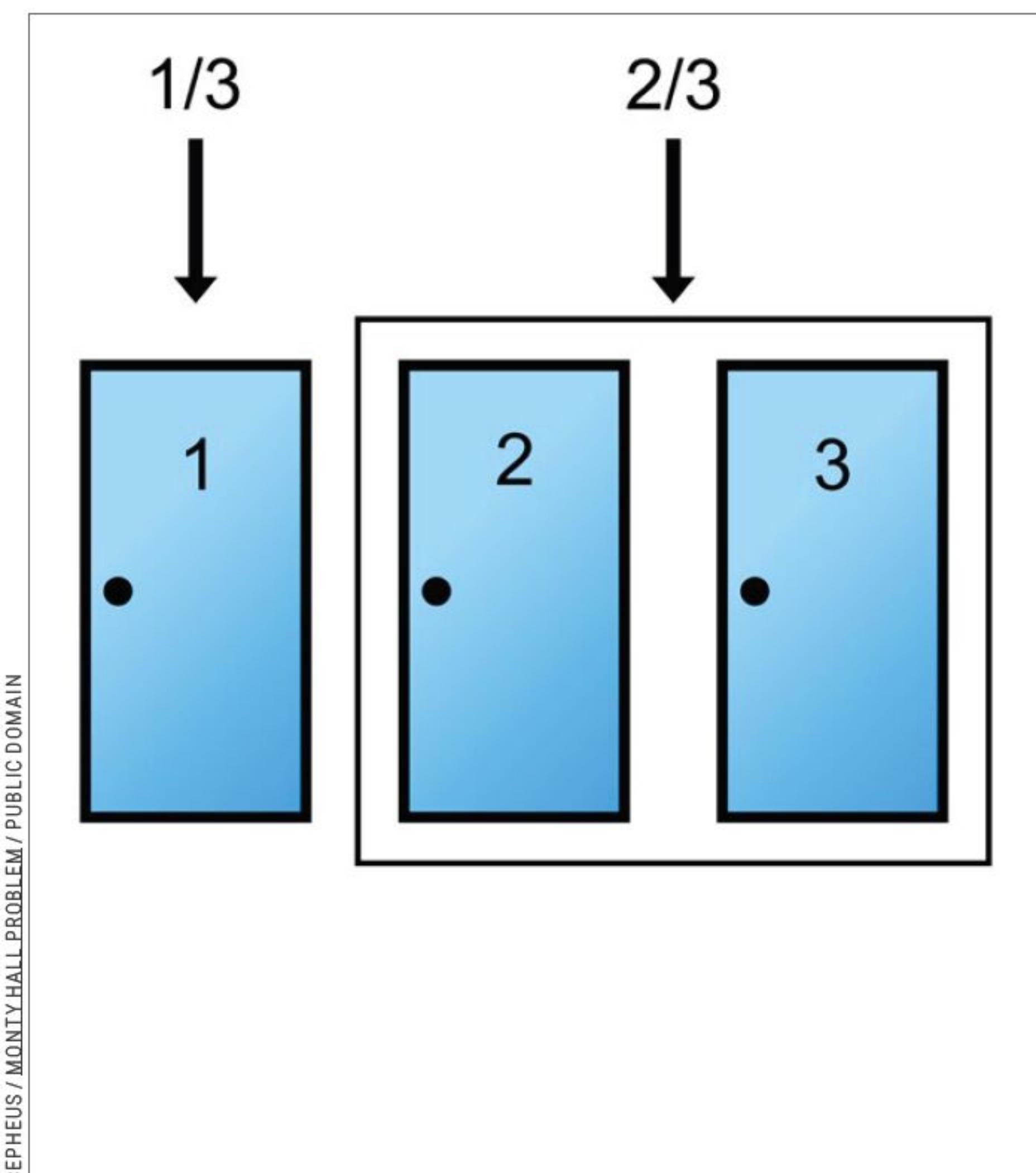
Manon Bischoff ist Redakteurin für Mathematik und Physik bei Spektrum der Wissenschaft.

In dieser Form erschien das Problem 1975 erstmals im Fachjournal »American Statistician«, wo es zunächst nicht allzu viel Aufmerksamkeit erregte. Erst als 15 Jahre später ein Leser des Magazins »Parade« einen Leserbrief dazu verfasste, auf welchen die Kolumnistin Marilyn vos Savant korrekt antwortete, entfachte sich ein erbitterter Streit. Es gingen mehr als 10 000 Leserbriefe ein, in denen allerlei Personen erklärten, warum eine Umentscheidung nicht die Gewinnwahrscheinlichkeit erhöht. Selbst einer der bedeutendsten Mathematiker des 20. Jahrhunderts, Paul Erdős, wollte anfangs nicht an die Lösung glauben. Erst eine Computersimulation, die zeigte, dass ein Wechsel zu mehr Gewinnen führt, überzeugte ihn von der Richtigkeit des Results. Das sorgte für so viel Aufsehen, dass die »New York Times« der Geschichte 1991 eine Titelseite widmete.

Sportwagen oder Ziege?

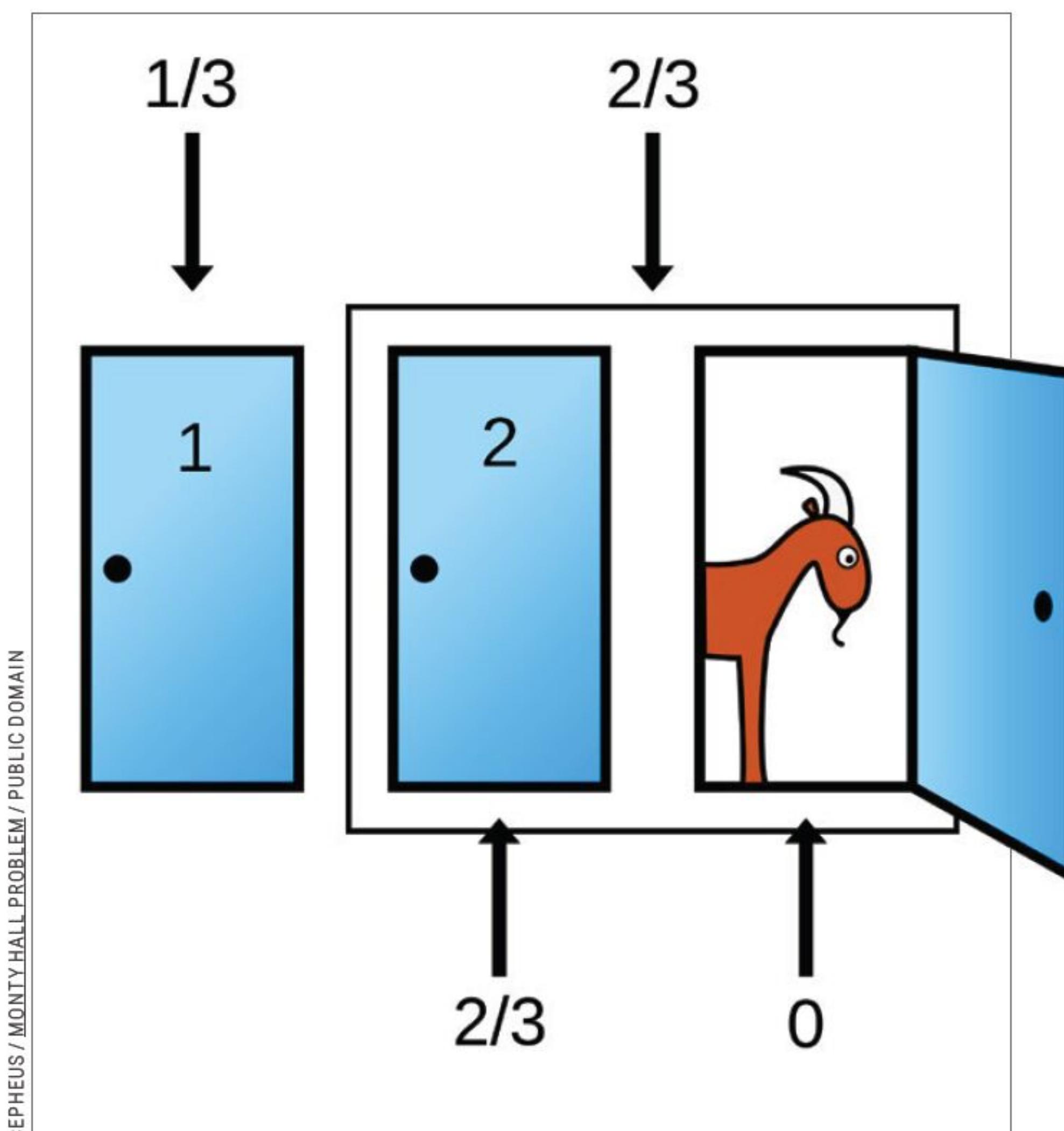
Es gibt verschiedene Möglichkeiten, das nicht intuitive Ergebnis zu erklären. Wenn man anfangs eine der drei Türen

auswählt, hat man eine Chance von eins zu zwei, den Preis zu gewinnen. Das heißt, der Sportwagen verbirgt sich mit einer Wahrscheinlichkeit von zwei Dritteln hinter einer der beiden anderen Türen. Nun öffnet der Moderator eine davon. Die Wahrscheinlichkeiten haben sich dadurch nicht anders verteilt: Der Sportwagen steht mit einer Wahrscheinlichkeit



Wahrscheinlichkeitsverteilung für drei verschlossene Türen des Ziegenproblems

von $\frac{1}{3}$ hinter der ursprünglich gewählten Tür und mit einer von $\frac{2}{3}$ hinter den beiden anderen. Da nun aber eine davon geöffnet wurde und sich dahinter eine Ziege befindet, muss der Preis mit einer Wahrscheinlichkeit von $\frac{2}{3}$ hinter der übrig gebliebenen Tür sein. Deshalb ist die Gewinnchance doppelt so groß, wenn man sich umentscheidet.



Wahrscheinlichkeitsverteilung für zwei verschlossene Türen des Ziegenproblems

Mit dieser Erklärung geben sich jedoch viele nicht zufrieden. Denn aus Sicht der Zweifler gibt es nach dem Offenbaren einer Niete jeweils eine Fifty-fifty-Chance, dass sich der Wagen hinter der ursprünglich gewählten oder der anderen Tür befindet. Warum das nicht stimmt, kann man verdeutlichen, indem man die neun verschiedenen Situationen, die während der Spielshow eintreten können, betrachtet. Dafür geht man alle möglichen Szenarien durch: ob man Tür 1, 2 oder 3 wählt, ob sich der Preis hinter Tür 1, 2 oder 3 befindet, ob man sich entscheidet oder nicht. Dann wertet man aus, in welchen Fällen man gewinnt und in welchen man mit einer Ziege nach Hause geht. Wie sich herausstellt, führt ein Strategiewechsel doppelt so häufig zu dem Sportwagen, nämlich in sechs von neun Szenarien.

Wen diese zwei vorgebrachten Argumente immer noch nicht überzeugt haben, kann sich eine abgewandelte Form

des Problems vorstellen. In dieser Spielshow gibt es nicht nur drei Türen, sondern 100 mit 99 Nieten und einem Preis. Wieder sollen Sie zufällig eine Tür auswählen. Die Wahrscheinlichkeit, dass sich dahinter der Gewinn verbirgt, beträgt nun nur noch ein Prozent. Der Moderator kann Sie aber gut leiden und öffnet daher 98 der 99 übrigen Türen – hinter allen befinden sich Ziegen. Nun lässt er Ihnen wieder die freie Wahl: Halten Sie an der zuvor gewählten Tür fest oder entscheiden Sie sich für die andere, die er nicht geöffnet hat. In diesem Fall würde es geradezu verrückt erscheinen, sich nicht umzuentcheiden.

Ebenso unlogisch ist es aber auch, im Fall von bloß drei Türen auf seiner ursprünglichen Wahl zu beharren. Allerdings ist der Unterschied zwischen den Wahrscheinlichkeiten dabei nicht ganz so enorm ($\frac{1}{3}$ auf der einen und $\frac{2}{3}$ auf der anderen Seite) wie in der Situation mit

100 Türen (1 Prozent im Vergleich zu 99 Prozent). Daher lassen sich die meisten von ihrer Intuition in die Irre leiten.

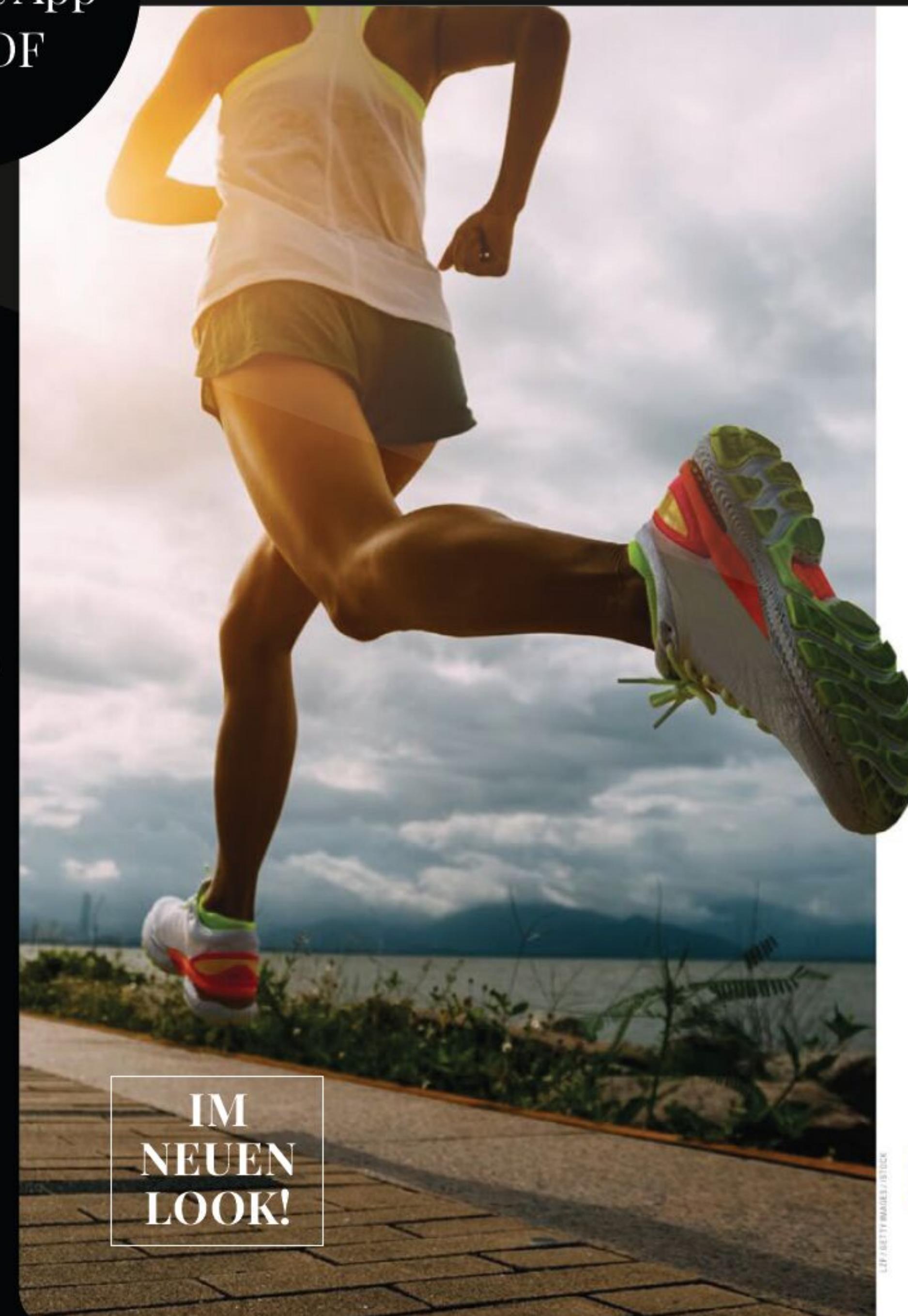
Und wer sich auch von dieser letzten Begründung nicht überzeugen lässt, dem kann man eine Lehre aus dem Tierreich mitgeben: Anders als Menschen, verstehen Tauben recht schnell, dass sich ein Wechsel lohnt, wie Verhaltensforscher 2010 feststellten. Dazu versteckten sie hinter einer von drei Türen Futterproben und spielten die Situation der Spielshow mit den Vögeln nach. Schon nach wenigen Wiederholungen lernten die Tiere, dass es Sinn macht, sich umzuentcheiden, wenn sie ans Futter kommen wollen. Offenbar können die Tauben besser mit kontraintuitiver Statistik umgehen als wir Menschen. ↵

Jetzt abonnieren
und keine Ausgabe
mehr verpassen!

52 Ausgaben im Jahresabo – für Sie selbst oder als Geschenk. Jederzeit kündbar und nur 0,92 € (ermäßigt 0,69 €) pro Ausgabe. Mit einem Abo profitieren Sie zudem von den exklusiven Vorteilen und Angeboten von **Spektrum** PLUS – wie kostenlosen Downloads, Vergünstigungen und Redaktionsbesuchen.

Hier bestellen!

Als Kombi-
paket mit App
und PDF



Spektrum
der Wissenschaft
DIE WOCHE

NR 01
05.01.
2023

SPORT

Muskeln halten das Herz-Kreislauf-System fit – sogar im Schlaf

Sport tut gut – vor allem unserem Herzen. Doch wie und was sollte man trainieren? Wie Sport auf unsere Gesundheit wirkt und warum schon kurzes, intensives Training effektiv ist.



RAUMFAHRT
Wie Atommüll die Erforschung des Mondes befeuern kann



MIKROBIOM
Bakterien helfen beim Schutz bedrohter Arten

- » Auch Katzen erkennen, wann ihre Besitzer mit ihnen sprechen
- » Klimawandel verringert Zahl der Bestäuber drastisch
- » Jahreswende bringt außergewöhnliche Temperaturrekorde
- » Achsenzeit: Ein moderner Mythos

Mit ausgewählten Inhalten aus **nature**