

HOCHFUNKTIONALE DEPRESSION

Die Erkrankung mit den vielen Gesichtern

Stets funktionieren und voll Elan Leistung bringen – so ist das typische Bild eines »Powermenschen«. Aber was, wenn hinter der Fassade eine tiefe Leere herrscht, die alle Emotionen verschlingt?



AHDI AGUS OKTAVIANA, GRIFFITH UNIVERSITY

ÄLTESTE KUNST DER MENSCHHEIT

Höhlenbild in Indonesien bricht Altersrekord



OWEN FRANKEN / GETTY IMAGES / THE IMAGE BANK UNRELEASED

EPSTEIN-AKTEN

Warum scharte Jeffrey Epstein berühmte Wissenschaftler um sich?

- » Ohrstöpsel: Stille Nacht, gute Nacht?
- » Roboter lernt realistische Lippenbewegung
- » Die ältesten Wirbeltiere hatten mehr Augen als gedacht
- » Angst vorm Glücklichein



Oliver Pailer ist Produktmanager bei Spektrum der Wissenschaft.

Liebe Leserinnen und Leser,

viele Menschen wirken, als könnten sie unermüdlich alles schaffen: leistungstark, präsent und voller Energie. Doch dies ist oft nur Fassade und das Lächeln dieser Menschen ist mehr Schutzschild als echte Freude.

Depression zeigt sich nicht immer im Rückzug – manchmal trägt sie auch das Gesicht eines »Powermenschen«. Vielleicht sollten wir Stärke neu definieren: Sie liegt nicht nur im Funktionieren, sondern auch im Mut, ehrlich zu sein. Heilung beginnt oft in dem Moment, in dem wir uns trauen, hinter die eigene Fassade zu blicken. Lesen Sie unsere Titelgeschichte »Die vielen Gesichter der Depression«.

Darüber hinaus in dieser Ausgabe: Warum Jeffrey Epstein sich mit berühmten Wissenschaftlern umgab.

Eine aufschlussreiche Lektüre wünscht

Oliver Pailer



TOLGART / GETTY IMAGES / ISTOCK (SYMBOLBILD MIT FOTOMODELL)

THEMEN

Hochfunktionale Depression
Älteste Kunst der Menschheit
Epstein-Akten
Ohrstöpsel

NEWS

Unheimliche Robotertermimik
Psychodiagnosen in der Ehe
Evolution
Kindheitstrauma
Raubfische
Planetarische Nebel

RUBRIKEN

Bild der Woche
Rezension
Die fabelhafte Welt der Mathematik

25 Die Erkrankung mit den vielen Gesichtern
36 Höhlenbild in Indonesien bricht Altersrekord
42 Warum scharte Jeffrey Epstein berühmte Wissenschaftler um sich?
50 Stille Nacht, gute Nacht?

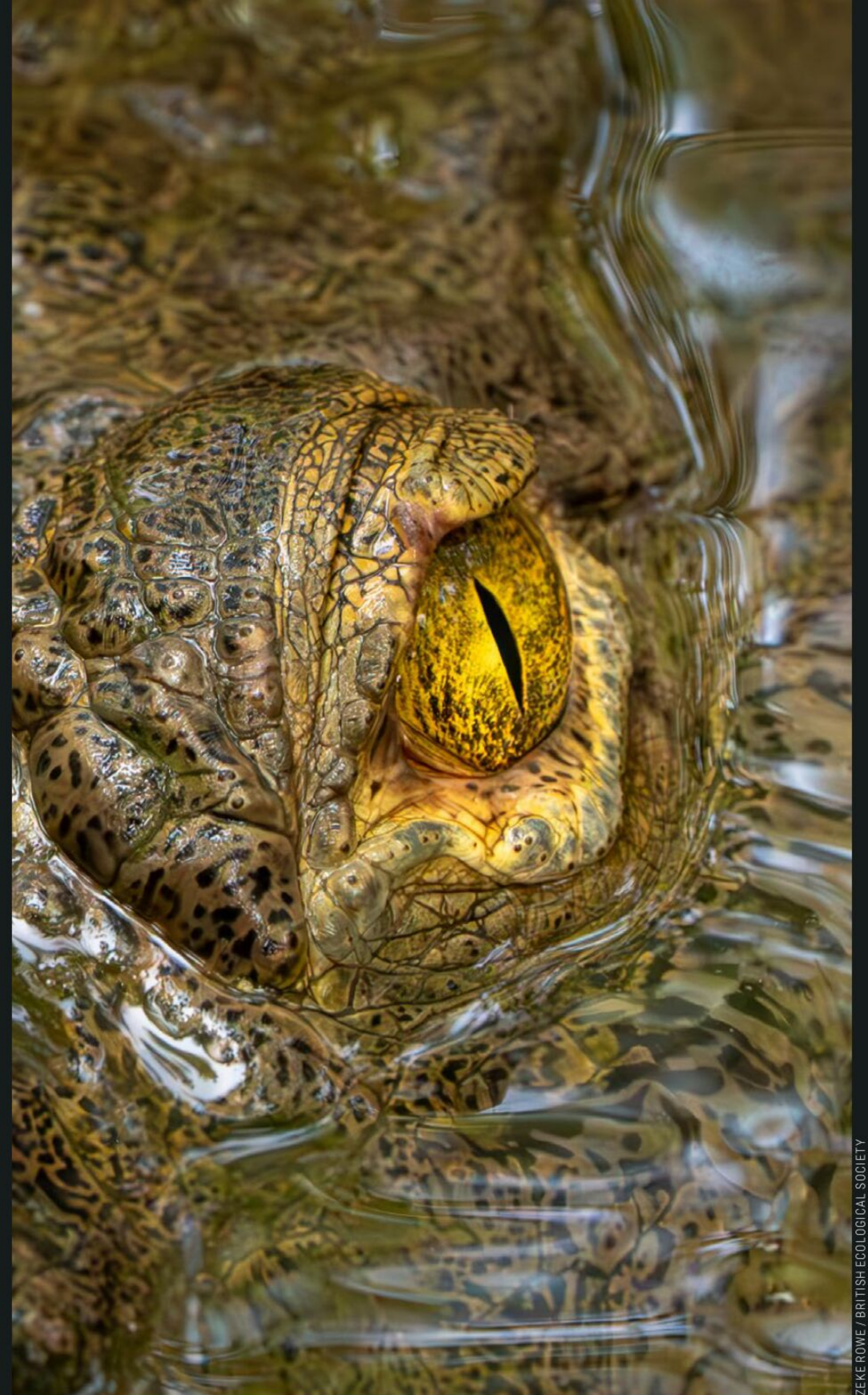
06 Roboter lernt realistische Lippenbewegung
08 Wie der eine, so der andere
11 Die ältesten Wirbeltiere hatten mehr Augen als gedacht
15 Angst vorm Glücklichein
18 Hawaiis Tigerhaie beißen am liebsten im Oktober
21 Tiefer Blick ins »Auge Gottes«

04 Keiner Fliege etwas zuleide tun
57 »Wirksam« von Peter D. Kramer
60 Die Antwort auf das Leben, das Universum und den ganzen Rest



Keiner Fliege etwas zuleide tun

Es wirkt wie ein Duell, wer zuerst blinzelt. Da dürfen auch die blutsaugenden Bremsen auf dem Kopf nicht stören. Mit diesem Bild gewann der Biologe Zeke Rowe von der Freien Universität Amsterdam den Fotowettbewerb »Capturing Ecology« der British Ecological Society 2026. Rowe war in Panama auf einem Forschungsaufenthalt, als er in einem Sumpf das Spitzkrokodil entdeckte: »Ich ging so dicht und tief heran, wie ich es wagte, und wartete auf direkten Augenkontakt«, beschreibt er seine Begegnung mit dem Krokodil. Allein für den Mut hätte er schon einen Preis verdient gehabt.



ZEKE ROWE / BRITISH ECOLOGICAL SOCIETY

VON DANIEL LINGENHÖHL

UNHEIMLICHE ROBOTERMIMIK

Roboter lernt realistische Lippen- bewegung

Das Antlitz einiger humanoider Roboter wirkt menschlich, doch wenn sie sprechen, wird es unheimlich.

VON THOMAS SIEBEL

EMICA ELVEDJI / PIXSELL / PICTURE ALLIANCE

Ein Roboter mit künstlicher Gesichtshaut kann zunächst nur Grimassen schneiden. Indem er stundenlang Youtube-Videos schaut, lernt er, seine Lippen synchron zur gesprochenen Sprache zu steuern.

Einige humanoide Roboter blicken mit erstaunlich echt wirkenden Gesichtern in die Welt. Doch wenn ein solcher Roboter zu sprechen beginnt, überkommt einen das mulmige Gefühl: Dieses Gerät spielt bloß einen Menschen und hat dabei zombiehafte Züge. Ein Grund dafür ist die hölzerne Mimik des Roboters und, dass er seine Lippen nicht passend zu den gesprochenen Wörtern bewegt. Ein Robotergesicht, das Fachleute der Columbia University School of Engineering and Applied Sciences entwickelt haben, soll das ändern.

Nur durch Beobachtung lernt das künstliche Gesicht, seine Lippen so zu

bewegen, dass sie zu Sprache oder Gesang passen. Der Roboter besitzt eine flexible, künstliche Haut, die von 26 kleinen Motoren bewegt wird. Zunächst setzten die Forschenden dieses Gesicht vor einen Spiegel und ließen es Grimassen schneiden. Aus den Tausenden von Ausdrücken lernte eine KI, die Motoren so anzusteuern, dass das künstliche Gesicht eine bestimmte Mimik erzeugt.

Anschließend zeigten die Forschenden dem Roboter aufgezeichnete Videos von sprechenden und singenden Menschen. Die KI lernte daraus, wie sich der Mund von echten Personen bei bestimmten Lauten bewegt. Mit beiden Modellen kann die KI des Roboters die Laute von

Sprache und Gesang direkt in Lippenbewegung übersetzen.

Das Forschungsteam räumt ein, dass die künstlichen Lippenbewegungen nicht perfekt sind. Besonders schwierig zu synchronisieren seien etwa harte Laute wie »P« und solche, die wie das »U« gespitzte Lippen erfordern. Sie rechnen aber damit, dass sich diese Fähigkeiten durch noch ausgiebigeres Training verbessern werden. Bislang bleibt die Mimik echter menschlicher Gesichter unerreicht. Diese werden von Dutzenden von Muskeln animiert, die direkt unter der weichen Haut liegen und sich auf natürliche Weise mit den Stimmbändern und Lippenbewegungen synchronisieren. ↩

PSYCHODIAGNOSEN IN DER EHE

Wie der eine, so der andere

Seine Probleme, ihre
Probleme – überzufällig
häufig handelt es sich
um die gleichen.

VON CHRISTIANE GELITZ

GETTY IMAGES / MASKOT (SYMBOLBILD MIT FOTOMODELLEN)

Gleich und Gleich gesellt sich gern. Das gilt jedenfalls für bestimmte psychische Störungen – und für manche von ihnen ganz besonders, wie umfangreiche Daten aus drei Ländern nahelegen.

Ehepartner leiden überzufällig häufig unter der gleichen psychischen Erkrankung. Das schloss ein Forschungsteam aus den USA, Taiwan und Dänemark im Fachmagazin »Nature Human Behavior« aus großen nationalen Datenbanken. »Die Ähnlichkeiten zwischen den Ehepartnern sind konsistent, sowohl über Länder als auch über Generationen hinweg, was auf ein universelles Phänomen schließen lässt«, schreibt die Gruppe um den Mediziner Chun Chieh Fan von der University of California in La Jolla.

Das Team hatte Versicherungsdaten von rund fünf Millionen Ehepaaren aus Taiwan, knapp 600000 aus Dänemark und mehr als 700000 aus Schweden analysiert. Unter neun erfassten Diagnosen

traten einige besonders häufig bei beiden Eheleuten auf, darunter Anorexie, Autismus und Zwangsstörungen. Schwächer war das Phänomen dagegen bei Depressionen und bei Angststörungen. Es gab auch Kombinationen aus zwei verschiedenen Diagnosen, die bei den Ehepaaren überzufällig häufig gemeinsam vorkamen, etwa Autismus und ADHS sowie Zwangsstörungen und Schizophrenie. Erfasst wurden außerdem bipolare Störungen und Substanzmissbrauch. Und für alle neun Diagnosen galt überzufällig häufig: wie der eine Ehepartner, so der andere.

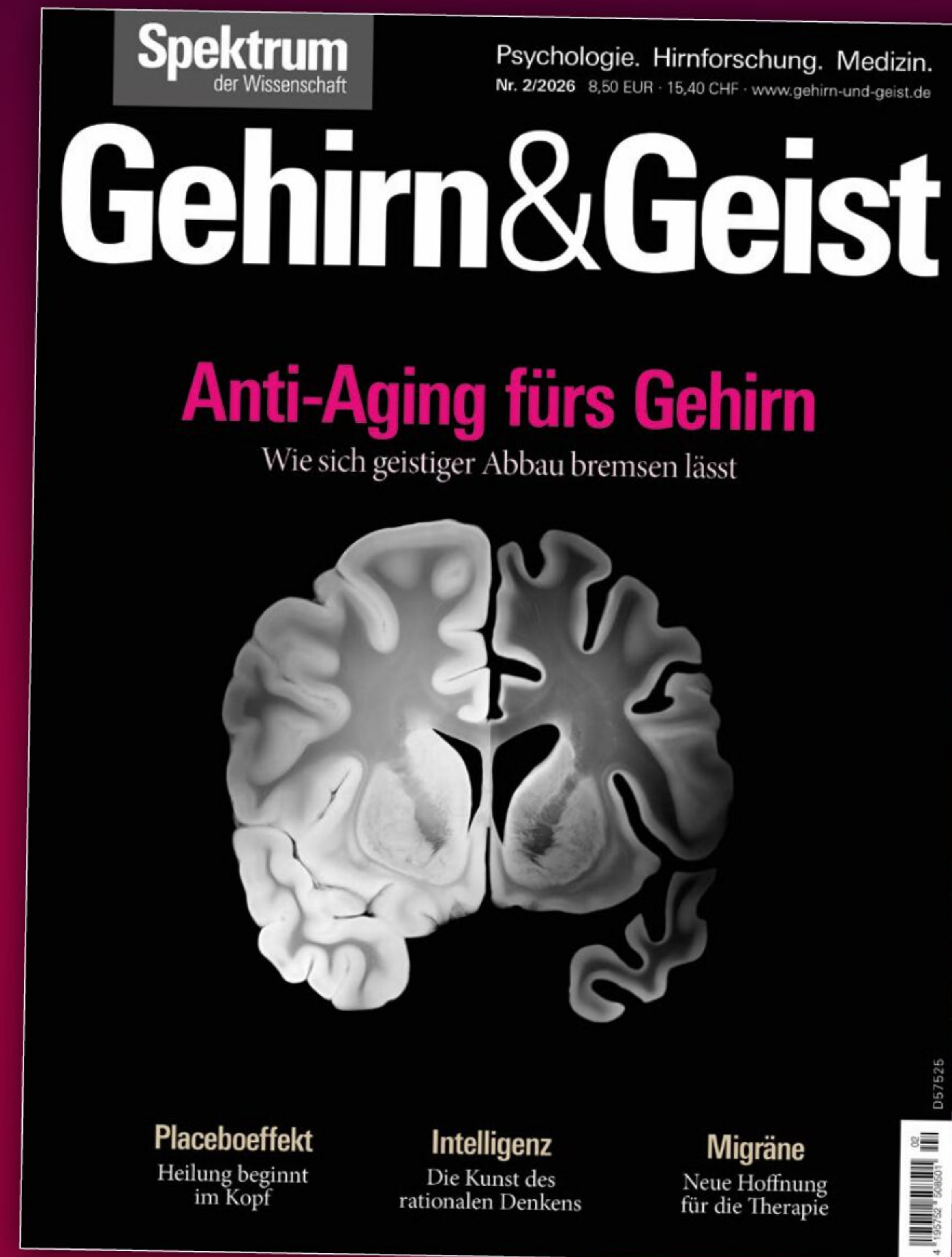
Die Autoren bieten mehrere Erklärungen für das Phänomen an. Erstens: Menschen wählen bewusst oder unbe-

wusst einen Partner mit ähnlichen Problemen, weil sie sich dann eher verstanden und verbunden fühlen. Zweitens könnte es sein, dass sich Menschen mit ähnlichen Problemen dieselbe Umwelt, zum Beispiel denselben Beruf, suchen und so die Wahrscheinlichkeit steigt, dass sie einander begegnen. Drittens schränken bestimmte psychische Probleme womöglich die Partnerwahl ein: Wer nicht selbst unter der gleichen Störung leidet, könnte sich von dem mit ihr verbundenen Stigma eher abschrecken lassen.

Diese Theorien beruhen auf der Annahme, dass die Gemeinsamkeiten der Partnerschaft vorausgehen. Die Daten gaben darüber aber keinen Aufschluss. Es wäre ebenso denkbar, dass zwei Men-

schen zeitgleich ähnliche Probleme entwickeln, weil sie einander beeinflussen oder denselben Einflüssen ausgesetzt sind. Es könnten auch mehrere Faktoren zusammenwirken: Ähnliche Menschen finden leichter zueinander, bleiben eher zusammen und werden sich mit der Zeit noch ähnlicher – und was davon zutrifft, könnte überdies von der Diagnose abhängen.

Der Befund ist mehr als eine amüsante Randnotiz in der Partnerschaftsforschung. Denn wenn Eheleute die gleichen psychischen Probleme haben, steigt die Wahrscheinlichkeit, dass die gemeinsamen Kinder ebenfalls darunter leiden. Und das habe auch Folgen für etwaige Genanalysen, wie das Team schreibt: In der Regel gehe man davon aus, dass psychische Störungen bei Vätern und Müttern zufällig verteilt sind. Sofern das nicht der Fall sei – weil etwa Elternpaare überzufällig häufig unter den gleichen Problemen leiden –, müsse man den genetischen Anteil an psychischen Störungen anders berechnen als bislang üblich. ↩



Das Magazin für Psychologie, Hirnforschung und Medizin

Zwölfmal im Jahr frische Einsichten über Psyche, Gehirn, Gesundheit und Denken. Neue Trends aus Forschung, Therapie und Gesellschaft.

Jetzt lesen!



EVOLUTION

Die ältesten Wirbeltiere hatten mehr Augen als gedacht

Die possierlichen fisch-
ähnlichen Tierchen waren
knapp zwei Zentimeter
lang und lebten im frühen
Kambrium vor 518 Millio-
nen Jahren.

VON LARS FISCHER

XIANGTONG LEI U. SIHANG ZHANG, YUNNAN UNIVERSITY

Unsere frühen evolutionären Verwandten hatten ein deutlich komplexeres Sehsystem als wir. Dass wir die Überreste noch heute mit uns tragen, merken wir, wenn wir müde werden. Genau deswegen sollten wir abends das Handy beiseitelegen.

Eine große Überraschung, die auch das Bild von der Evolution des menschlichen Gehirns verändert, kam in den Jahren 2019 bis 2024 in chinesischen Gesteinen ans Licht. Die ältesten bekannten Wirbeltiere, vor 518 Millionen Jahren lebende fischähnliche Wesen, hatten nicht bloß zwei Augen, sondern vier, wie ein Team nun in der Fachzeitschrift »Nature« berichtet. Zusätzlich zu den beiden Augen seitlich im Kopf, die man bei nahezu allen modernen Wirbeltieren findet, besaßen die fischartigen *Mylokunmingidae* zwei weitere kleine, aber funktionale Kameraaugen in der Mitte zwischen ihnen. Nach Ansicht der Arbeitsgruppe um Xi-

angtong Lei von der Yunnan University in China sind diese Augen Vorläufer des rätselhaften lichtempfindlichen »dritten Auges« im Gehirn von heutigen Reptilien und Amphibien. Damit sind sie auch der Ursprung der Zirbeldrüse beim Menschen, die den Schlaf-Wach-Rhythmus steuert und deren evolutionäre Herkunft bisher mysteriös war.

Dass der Sehsinn der Wirbeltiere evolutionär komplex ist und über die beiden klassischen Augen hinausgeht, wissen Fachleute seit Langem. Reptilien und Amphibien besitzen nämlich eine lichtempfindliche Hirnstruktur unter der Schädeldecke, die Hormone ausschüttet.

Bei manchen Arten ist dieses Pinealorgan sogar zu einem echten dritten Auge mit Linse und Netzhaut ausgebildet. Dagegen hat die Struktur bei Säugetieren ihre Lichtsinneszellen verloren und ist eine reine Drüse – doch auch sie hat ihre Verbindung zu Licht und Dunkel bewahrt. Sie produziert das schlaffördernde Hormon Melatonin – und reagiert sogar auf relativ schwaches Licht mit Schlafproblemen. Es handelt sich um ein evolutionär sehr altes System, doch wie und warum es ursprünglich entstand, darüber konnten Fachleute bisher nur spekulieren.

Die Untersuchung von Lei bestätigt nun die alte, naheliegende Vermutung,



XIANGTONG LEI U. SHIHANG ZHANG, YUNNAN UNIVERSITY

FOSSILER MYLLOKUNMINGID MIT VIER AUGEN | Die dunkle Pigmentschichten, die in der Struktur dem Melanin der Netzhaut ähnelt, sowie die ovalen Reste der Linsen verraten die hochentwickelten Kameraaugen der Ur-Wirbeltiere.

dass das Pinealorgan ursprünglich ebenfalls eine augenähnliche Struktur war. Unerwartet kommt allerdings, wie komplex der Sehsinn der frühen Wirbeltiere tatsächlich war. Das Team um Lei zeigt anhand der erhaltenen Überreste, dass die beiden zusätzlichen Augen eine Linse hatten sowie eine Melanin enthaltende Schicht, wie sie auch in der Netzhaut moderner Wirbeltiere vorkommt. Das heißt, diese Augen waren nicht nur Lichtsensoren, sondern sie erzeugten Bilder – es waren sogenannte Kameraaugen. Das bedeutet, dass der Sehsinn der Wirbeltiere keineswegs mit der Zeit komplexer wurde. Im Gegenteil, unsere frühesten Verwandten entwickelten vor rund 520 Millionen Jahren binnen kurzer Zeit einen sehr ausgefeilten Sehsinn mit vier Augen. Über die folgenden Jahrmillionen verkümmerten zwei von ihnen nach und nach und bildeten sich schließlich zu einer reinen Hormondrüse um. ↶



Nur das Beste für Ihr Postfach!

Der **Spektrum.de**-Newsletter

Mit unserem kostenfreien Newsletter entgehen Ihnen keine wissenschaftlichen Höhepunkte und aktuellen Themen mehr! Erhalten Sie regelmäßig Inhalte, die genau Ihren Vorlieben entsprechen – individuell auf Ihre Interessen zugeschnitten.

Bleiben Sie informiert.

Jetzt anmelden!



KINDHEITSTRAUMA

Angst vorm Glücklichsein

VON JOACHIM RETZBACH

HALFPOINT IMAGES / GETTY IMAGES / MOMENT (SYMBOLBILD MIT FOTOMODELL)

Wer früher misshandelt oder vernachlässigt wurde, fürchtet sich mitunter davor, glücklich zu sein – das wiederum begünstigt eine Depression.

Manche Menschen haben eine regelrechte »Angst vor dem Glücklichen«: Sie trauen sich nicht, ihr Leben zu genießen, weil sie fürchten, dass dann etwas Schlimmes passiert. Eine Studie aus China zeigt nun, dass diese Angst eine Rolle dabei spielen könnte, ob man negative Kindheitserfahrungen überwindet – oder später eher zu Depressionen neigt.

Das Forschungsteam um Feng Xiao von der Medizinischen Universität Chongqing befragte 1085 Studierende fünf chinesischer Universitäten zu ihren Kindheitserfahrungen und zu Anzeichen einer Depression. Um herauszufinden, ob die Teilnehmenden positive Gefühle als gefährlich empfanden, kam ein etablierter Fragebogen zum Einsatz. Darin

mussten die Befragten einschätzen, wie stark sie Aussagen zustimmten wie »Ich bin lieber nicht zu fröhlich, denn darauf folgt meist Traurigkeit« oder »Ich glaube, je glücklicher und ausgelassener ich bin, desto eher passieren schlechte Dinge in meinem Leben«.

Studierende mit belastenden Kindheitserfahrungen berichteten häufiger von Symptomen wie Niedergeschlagenheit und Antriebslosigkeit. Zugleich hatten sie eine größere Angst davor, glücklich zu sein. Letzteres erwies sich in der Auswertung als wichtiges Bindeglied zwischen früheren Erlebnissen und der aktuellen Situation: Die Aversion gegen das Glück erklärte knapp 36 Prozent des Zusammenhangs zwischen Kindheitstrauma

und Depressionen. Besonders deutlich war das für Personen, die emotionale Gewalt erlebt hatten – etwa ständige Abwertung und Kritik durch die Eltern – und die körperlich vernachlässigt wurden, denen es also beispielsweise an Pflege oder regelmäßigen Mahlzeiten mangelte.

Die Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler glauben, dass diese Teilnehmenden positive Gefühle mit Gefahr verknüpfen, weil in ihrer Kindheit auf Freude oft schlechte Erfahrungen wie Zurückweisung, Wutausbrüche der Eltern oder andere unangenehme Situationen folgten. Da die Untersuchung allerdings auf Selbstauskünften beruhte und die Befragung erst im Erwachsenenalter stattfand, ließen sich Ursache und Wirkung

nicht zweifelsfrei bestimmen, geben die Forschenden zu bedenken. Zudem müsse noch überprüft werden, ob kulturelle Eigenheiten einen Teil der Ergebnisse erklären: In China sei die Vorstellung, dass übermäßige Freude häufig Unglück nach sich zieht, traditionell stark verankert.

In jedem Fall empfehlen die Fachleute, Betroffenen mit Elementen aus der kognitiven Verhaltenstherapie zu helfen. Sie könnten lernen, automatische negative Gedanken über das Glückliche zu hinterfragen, und versuchen, wieder mehr positive Gefühle in ihrem Leben zuzulassen. ↶

WOODENHEADWORLD / GETTY IMAGES / E+
BEARBEITUNG SPEKTRUM DER WISSENSCHAFT



Das Magazin über die menschliche Psyche

Alle zwei Monate Neuigkeiten aus der Forschung.
Verstehen, wie andere denken und fühlen,
und das eigene Innenleben entschlüsseln.

JETZT LESEN!

RAUBFISCHE

Hawaiis Tigerhaie beißen am liebsten im Oktober

Tigerhaie können Menschen durchaus gefährlich werden. Zu ihrem Beutespektrum gehören wir aber eigentlich nicht.

VON DANIEL LINGENHÖHL

MACCJ / GETTY IMAGES / ISTOCK

Haibisse kommen sehr selten vor. Wer zur richtigen Jahreszeit das Wasser meidet, senkt sein Risiko noch weiter – zumindest auf Hawaii.

Immer im Oktober mehren sich die gemeldeten Bisse von Tigerhaien (*Galeocerdo cuvier*) vor den Stränden Hawaiis. Das ist das Ergebnis einer statistischen Datenanalyse von Carl Meyer von der University of Hawaii in Manoa: Rund 20 Prozent aller Attacken fänden in diesem Monat statt, schreibt der Biologe in seiner Studie – signifikant mehr als zu jeder anderen Zeit des Jahres.

Meyer hatte alle bekannten Haiattacken auf Menschen aus der Zeit zwischen 1995 und 2024 ausgewertet und dabei die deutliche Saisonalität entdeckt, den

»Sharktober«, wie er diese Zeit im Kollegenkreis bezeichnet. Die Zunahme an Bissen in diesem Monat habe allerdings nichts mit einem gesteigerten Interesse an Menschen oder einer größeren Zahl an Badenden zu tun, sondern liege in der Biologie der Fische begründet: Tigerhaie nähern sich im September und Oktober den Küsten Hawaiis und wandern dabei auch aus anderen Regionen zu, um hier ihre Jungen auf die Welt zu bringen – die Art ist lebend gebärend.

Nach der Geburt sind die Weibchen ausgezehrt und entsprechend verstärkt

auf der Suche nach Beute, um ihre Energiereserven aufzufüllen. Dabei kommt es mitunter zu Verwechslungen, denn Menschen gehören nicht zum natürlichen Beuteschema der Tigerhaie. Mehr hungrige Haie im Wasser bedeute jedoch auch, dass das Risiko für Fehlbisse steige, so Meyer. Bestätigt wird die These, dass im Oktober mehr Tigerhaie vor Hawaii umherstreifen, durch gemeldete Beobachtungen, etwa von Tauchern, die sich ebenfalls zu dieser Zeit häufen.

In anderen Monaten ziehen sich die Tigerhaie hingegen in abgelegene Regi-

onen der Hawaii-Inseln zurück, etwa zu den French Frigate Shoals, die nordwestlich der Hauptinseln liegen. Dort jagen sie nach jungen Seevögeln, die nach ihrem Flüggewerden unachtsam auf dem Wasser landen und dort zur Beute der Haie werden. Wenn die Tigerhaie dort auftauchen, ziehen sich andere Haiarten wiederum zurück, um ihnen nicht in die Quere zu kommen.

Den Menschen empfiehlt Meyer dagegen keine Panik: Selbst im Oktober komme es nur höchst selten zu einer Attacke. Wer sein Risiko weiter senken will, solle dann nicht ins Wasser gehen oder sich zumindest beim Schwimmen und Surfen von anderen begleiten lassen, die im Ernstfall Hilfe leisten könnten. ↩



Das Magazin für Naturwissenschaft, Forschung und Technologie

Zwölfmal im Jahr neueste Erkenntnisse aus der Wissenschaft.

Forschung von heute wird zur Technologie von morgen.

Jetzt lesen!

PLANETARISCHE NEBEL

Tiefer Blick ins »Auge Gottes«

Die Aufnahme des Helixnebels vom bodengebundenen VISTA-Teleskop in Chile zeigt den gesamten planetarischen Nebel, der etwa vier Lichtjahre im Durchmesser misst.

VON SIMON MISOF

IMAGE: ESO, VISTA, NASA, ESA, CSA, STScI, J. EMERSON (ESO), ACKNOWLEDGMENT: CASU / HELIX NEBULA CONTEXT (VISTA AND WEBB)

Neue Aufnahmen des James-Webb-Weltraumteleskops zeigen den Helixnebel in bisher nie da gewesener Detailtiefe. Sie offenbaren komplexe Strukturen um das heiße Zentralobjekt und liefern Einblicke in die Materialschmiede künftiger Stern- und Planetensysteme.

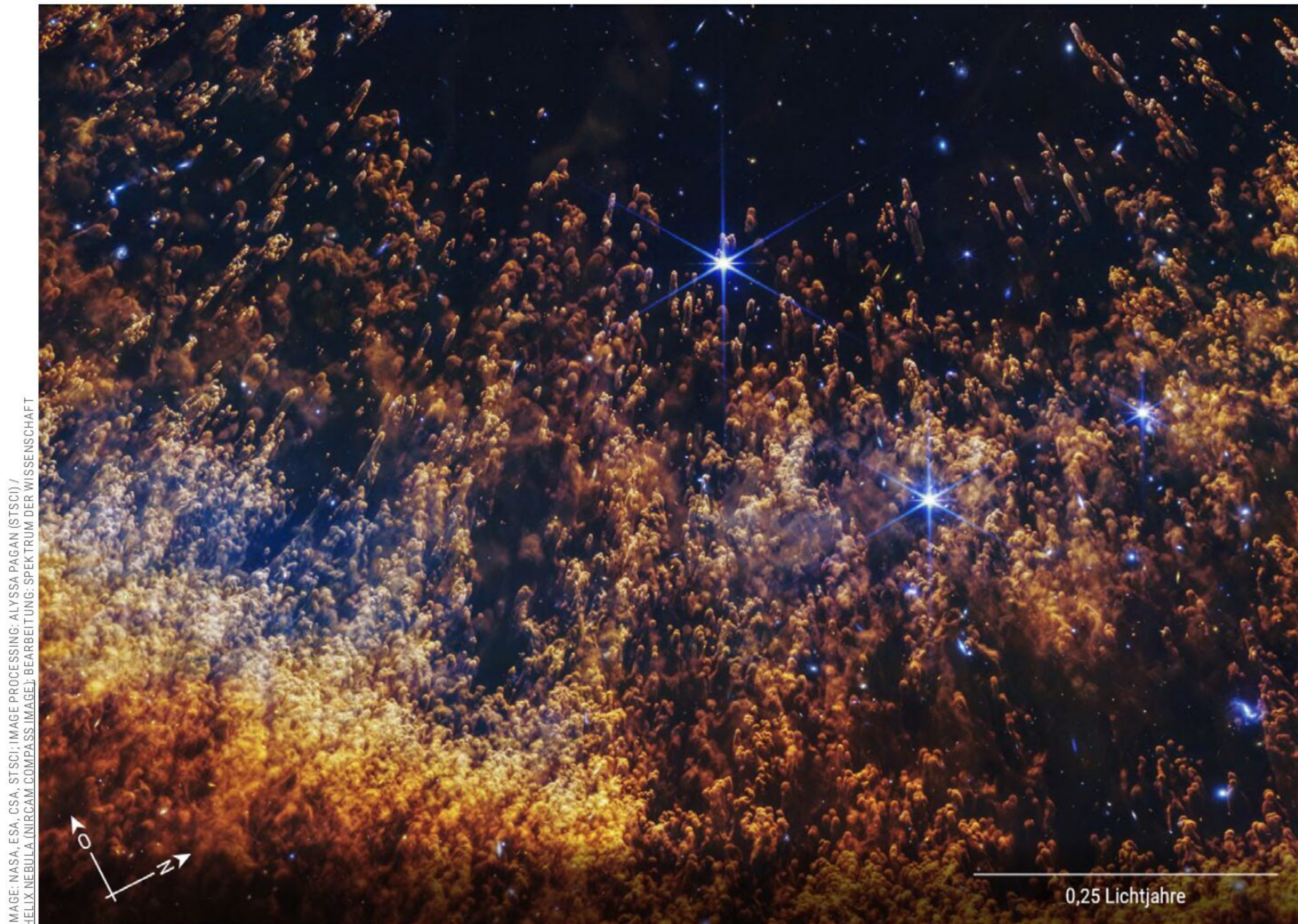
Der Helixnebel (NGC 7293) gehört seit seiner Entdeckung durch den deutschen Astronomen Karl Ludwig Harding vor mehr als zwei Jahrhunderten zu den bekanntesten planetarischen Nebeln am Himmel. Er befindet sich rund 650 Lichtjahre von der Erde entfernt im Sternbild Wassermann (lateinisch: Aquarius) und ist damit eines der uns am nächsten gelegenen Objekte seiner Art. Die große ringförmige Struktur aus expandierendem Gas und Staub ist der Überrest eines einst sonnenähnlichen Sterns, der am Ende seines Lebens seine äußeren Hüllen abgestoßen hat. Die markante Erscheinungsform hat dem Nebel auch den ein oder anderen fantasievollen Spitznamen eingebracht: So kennt man die Struktur

auch als das »Auge Gottes« – oder als jenes von Sauron, einem fiktiven Charakter aus dem Fantasy-Epos »Der Herr der Ringe«.

Im Zentrum von NGC 7293 sitzt ein gleißend heller Weißer Zwerg, der freigelegte Kern des sterbenden Vorläufers, kaum erkennbar als kleiner blauer Punkt. Seine intensive energiereiche Strahlung lässt das umliegende Gas aufleuchten und erzeugt dort eine Vielfalt an Strukturen. So lassen sich in der neuen Detailaufnahme mit der NIRCam, der Nahinfrarotkamera (englisch: Near Infrared Camera) an Bord des James-Webb-Weltraumteleskops (JWST), Hunderte kometenähnliche Säulen mit hellen Köpfen und ausgedehnten, nach außen gerichte-

ten Schweifen erkennen. Dicht gepackt bilden sie den inneren Rand des »Auges« ab. Sie entstehen dort, wo die heißen, schnellen Sternwinde des zentralen Weißen Zwergs auf langsamere und kühlere Gasschichten treffen, die dieser zu einem früheren Zeitpunkt abgestoßen hat.

Die Farbe in der JWST-Infrarotaufnahme verrät dabei viel über die Temperatur und chemische Zusammensetzung des Gases. Bläuliche Töne markieren stark erhitztes und durch die intensive Ultraviolettstrahlung des Weißen Zwergs ionisiertes Gas in dessen unmittelbarer Nähe. Weiter nach außen kühlt das Gas ab, Wasserstoffatome verbinden sich zu Molekülen, während sich in den äußeren, rötlichen Randbereichen Staub bilden



GOTTES IRIS IM DETAIL | Die Kompositaufnahme mit der NIRCam an Bord des JWST zeigt die inneren Strukturen der Gas- und Staubhülle in mehreren Filtern bei Wellenlängen im Nahinfraroten zwischen 1,15 und 4,7 Mikrometern. Hunderte kometenähnliche Säulen, geformt durch die Wechselwirkung heißer, schneller Sternwinde des zentralen Weißen Zwergrs mit kälterem, früher abgestoßenem Gas, ragen aus der Nebelhülle hervor. Zwischen den leuchtenden Säulen lassen sich im Hintergrund weit entfernte Galaxien erkennen. Der dargestellte Ausschnitt entspricht einer Ausdehnung von rund einem Lichtjahr, Norden ist oben rechts, Osten oben links.

kann. Dort, abgeschirmt von der energiereichen Strahlung, in den dunklen Bereichen, inmitten der leuchtenden Orange- und Rottöne, entstehen komplexe Moleküle – das Rohmaterial, aus dem eines Tages neue Sterne und Planeten werden können.

Untersuchungen mit Spitzer, dem im Jahr 2020 abgeschalteten Infrarot-Weltraumteleskop der NASA, deuteten bereits auf die Bildung komplexer Moleküle hin; doch erst Webbs unübertroffene Auflösung macht es möglich, diesen bei ihrer Entstehung zuzusehen.

Aufgrund seiner relativen Nähe ist der Helixnebel als Zielobjekt sowohl bei Hobbyastronomen als auch bei Wissenschaftlern gleichsam beliebt. Sein vergleichsweise großer scheinbarer Durchmesser am Himmel von etwa einer halben Vollmondbreite darf jedoch nicht darüber hinwegtäuschen, dass planetarische Nebel im kosmologischen Maßstab eher kompakte und, mit Lebensdauern von wenigen Zehntausend Jahren, recht kurzlebige Erscheinungen sind. ↩

NEU in 2026!

Freuen Sie sich auf zwei brandneue Magazine –
jedes Jahr mit 6 spannenden Ausgaben!



Spektrum MINT – Technik und Naturwissenschaften für die Zukunft

Aktuelles aus dem Bereich der angewandten naturwissenschaftlichen Forschung:
Ob Biotechnologie, KI, Erneuerbare Energien oder Quantencomputer – mit **Spektrum MINT** bleiben Sie immer nah an den Innovationen aus der Wissenschaft.



Spektrum DOSSIER –

Die Lebenswissenschaften im Fokus

Von Alzheimer bis Zooplankton:
Spektrum DOSSIER bietet fundierte Berichte aus Biologie, Medizin, Hirnforschung und Psychologie.

JETZT TESTEN: 3 AUSGABEN + 1 AUSGABE GRATIS!

HOCHFUNKTIONALE DEPRESSION

Die Erkrankung mit den vielen Gesichtern

VON STEFANIE UHRIG



**Stets funktionieren
und voll Elan Leistung
bringen – so ist das
typische Bild eines
»Powermenschen«.
Aber was, wenn hinter
der Fassade eine tiefe
Leere herrscht, die alle
Emotionen verschlingt?**

Wenn jetzt der Lkw ausschert und mich trifft – okay, dann wäre es zumindest vorbei.« Dieser Gedanke kam Pia Achilles jedes Mal, wenn sie morgens über die Autobahn zur Arbeit und abends wieder zurückfuhr. Eine drastische Vorstellung, die von außen betrachtet sofort als Warnsignal erkennbar ist: So sollte sich niemand fühlen, da stimmt etwas nicht. Pia selbst nahm das allerdings gar nicht so deutlich wahr. Der Gedanke kam und ging – und zwischendurch funktionierte sie. »In Meetings habe ich gelacht, auf der Heimfahrt geweint.« Mehr als zwei Jahre lang lebte sie in diesen Extremen. Ohne zu

Stefanie Uhrig ist promovierte Neurowissenschaftlerin und Wissenschaftsjournalistin. Sie lebt in Erbach im Odenwald.

AUF EINEN BLICK

Produktiv und depressiv

01 Der Begriff hochfunktionale Depression beschreibt Menschen, die nach außen hin leistungsfähig wirken. Innerlich kämpfen sie jedoch mit Erschöpfung und Leere.

02 Die Bezeichnung kann Betroffenen helfen, das eigene Leiden besser zu verstehen. Sie ist keine medizinische Diagnose und unter Fachleuten umstritten.

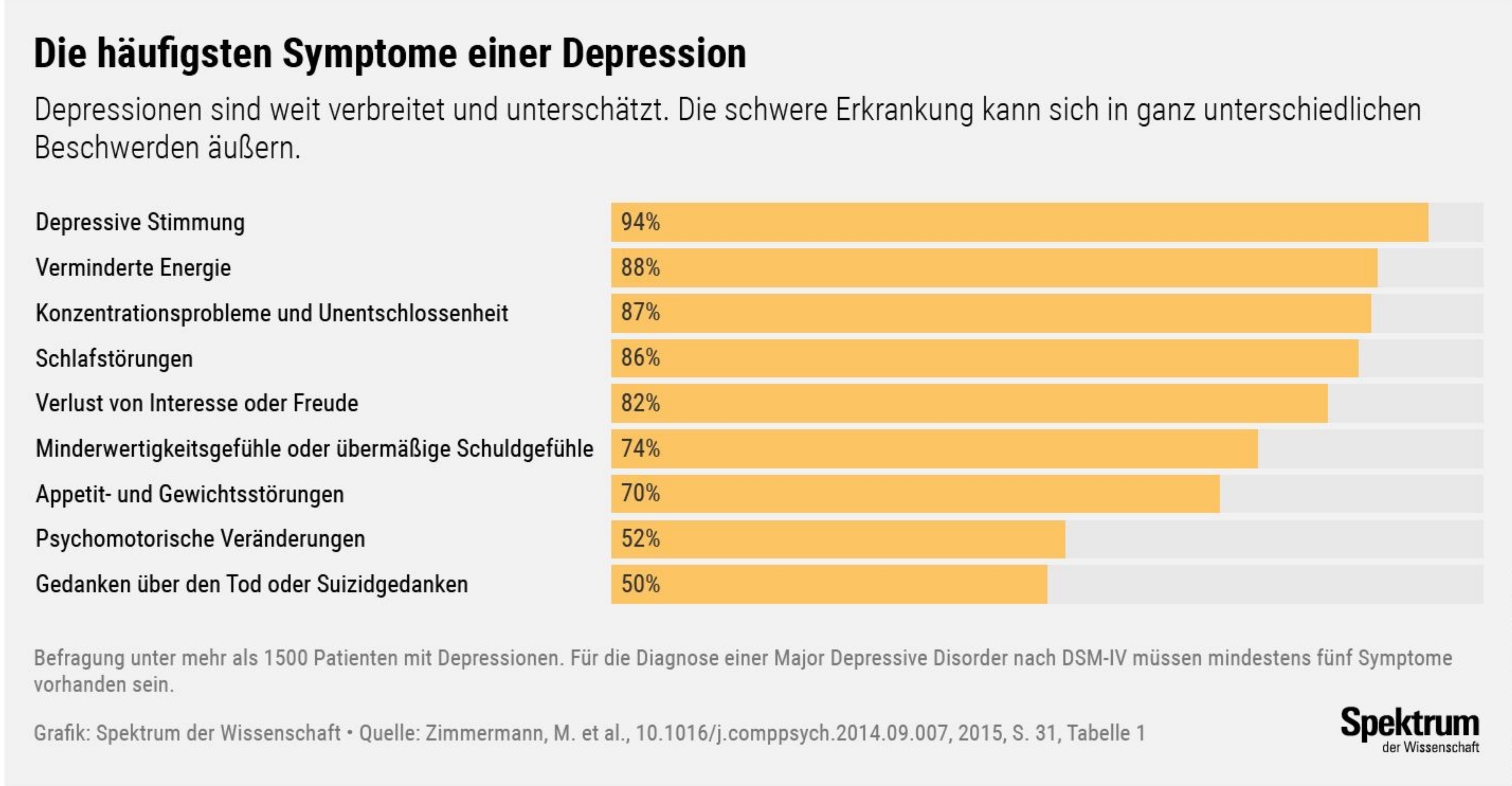
03 Depressionen zeigen sich sehr unterschiedlich. Hilfe ist möglich: Psychotherapie, Medikamente und niedrigschwellige Hilfsangebote können Symptome verringern und Lebensfreude zurückbringen.

merken, dass sie an Depressionen litt und Hilfe brauchte.

Depressionen: Das ist ein Wort, von dem wohl die meisten Menschen eine bestimmte Vorstellung haben. Oft ist damit tiefe Trauer und Erschöpfung assoziiert, vielleicht auch das Bild von Personen, die nicht mehr aus dem Bett kommen und sich zu nichts aufrufen können. Diese Auffassung einer »klassischen« Depression hatte auch Pia. Sie kannte die Erkrankung aus nächster Nähe: Ihre Mutter hatte, seit Pia etwa 13 Jahre alt war, immer wieder starke depressive Phasen. Schon früh beschäftigte sich Pia also intensiv mit der Erkrankung und übernahm oft die Rolle der verantwortungsvollen Pflegeperson. Dass sie selbst später darunter litt, war ihr jedoch nicht bewusst.

Permanent an der Grenze zum Kollaps

Was Pia erlebte, wird mittlerweile von manchen Fachleuten, von Betroffenen und in den sozialen Medien als »hochfunktionale Depression« bezeichnet: Betroffene gehen weiter zur Arbeit, schmei-



ßen den Haushalt oder kümmern sich um die Familie – aber innerlich können sie keine Freude mehr empfinden, fühlen sich leer und erschöpft, eben depressiv. Ein Leben stets an der Grenze zu einem Kollaps. Häufig sind das Menschen, von denen niemand es erwarten würde, denn von außen wirkt alles so entspannt und leicht.

Der Begriff »hochfunktional« beschreibt den Zustand der Betroffenen

treffend und macht das Dilemma deutlich. Trotzdem ist er unter Fachleuten umstritten. Ulrich Hegerl, Vorstandsvorsitzender der Deutschen Depressionshilfe, überzeugt die Bezeichnung nicht. »Das ist alles die gleiche Depression«, betont der Professor für Psychiatrie, Psychosomatik und Psychotherapie. Es gebe zwar die Tendenz, Unterkategorien zu bilden: Männerdepression, Erschöpfungsdepression, hochfunktionale Depressi-

Betroffene gehen weiter zur Arbeit,
schmeißen den Haushalt oder kümmern
sich um die Familie – aber innerlich
fühlen sich leer und erschöpft

on – aber letzten Endes laufe es immer auf dieselbe Diagnose hinaus.

Warum finden sich dann trotzdem immer wieder neue Begriffe, um zwischen verschiedenen Arten von Depression zu unterscheiden? Eine Erklärung könnte sein, dass sich die Erkrankung ganz unterschiedlich äußern kann. Die verschiedenen Ausprägungen passen nicht immer zu der klassischen Vorstellung, die Menschen von einer Depression haben.

Eine Depression wird in Deutschland gemäß ICD-11 diagnostiziert, dem internationalen Klassifikationssystem für Erkrankungen der Weltgesundheitsorganisation WHO. Dafür müssen bestimm-

te Symptome wie etwa eine gedrückte Stimmung für mindestens zwei Wochen vorhanden sein.

Depressionen: Eine Diagnose, große Vielfalt

Ein Team um den US-amerikanischen Psychiater Mark Zimmerman hat errechnet: Es gibt 227 mögliche Kombinationen von Symptomen, die allesamt zur Diagnose »Major Depressive Disorder« im DSM-5 führen, dem US-amerikanischen Pendant zum ICD-11. Die Zahl verdeutlicht die große Vielfalt der Erkrankung. Allerdings kommen nicht alle Merkmalskombinationen gleich häufig vor. Bei einer Befragung von 1500 Pati-

entinnen und Patienten fand das Team um Zimmerman tatsächlich »nur« 170 Varianten.

Im Schnitt erfüllten die befragten Patientinnen und Patienten sieben der insgesamt neun Diagnosekriterien des DSM-5. Bei 10 Prozent von ihnen waren gar alle Symptome vorhanden. 20 Prozent erfüllten die Mindestanzahl an fünf Symptomen. Das häufigste Symptom (94 Prozent) war depressive Stimmung, das seltenste Suizidgedanken (50 Prozent).

Außerdem kann sich ein Merkmal sehr unterschiedlich äußern. So lautet ein Symptom zum Beispiel »Appetit- und Gewichtsstörung«. Manche Depressive haben keine Lust mehr auf Essen und

nehmen stark ab; andere nehmen dagegen deutlich zu. Ähnliches gilt für das Schlafverhalten. Ein Teil der Betroffenen schläft viel mehr als früher; andere wiederum leiden an Schlaflosigkeit und haben Probleme mit dem Ein- oder Durchschlafen.

Selbst im Gehirn laufen offenbar unterschiedliche Dinge ab, je nach Ausprägung der Erkrankung. Das hat sich ein Team um die Radiologin Janine Bjijsbosch von der Washington University School of Medicine in Saint Louis in einer 2025 veröffentlichten Arbeit genauer angeschaut. Dazu nutzten die Forscher Daten von über 6000 Menschen mit einer klinischen Depression und rund 8500 gesunden Personen aus der UK Biobank.

Zuerst teilten sie die Patientinnen und Patienten nach ihrem Hauptsymptom oder anderen Merkmalen in mehrere Gruppen ein: Anhedonie (die Unfähigkeit, Freude zu empfinden), gedrückte Stimmung, somatische Depression, chronische Depression, spät auftretende Depression und akute Beeinträchtigung.

Der Großteil – etwa 4000 Personen – passte jedoch nicht eindeutig in eine dieser Gruppen und wurde als »heterogen« klassifiziert.

Neuronale Signatur

Daraufhin verglichen sie die Informationen aller Probanden zur Struktur und zur Arbeitsweise des Gehirns. Dabei machten sie zwei spannende Beobachtungen: Die Betroffenen aus den genau definierten Untergruppen hatten jeweils eigene Neuroimaging-Profile, und diese unterschieden sich deutlich voneinander. Das nennen Wissenschaftler »one-to-one« – also eine einzigartige neuronale Signatur für exakt eine klinische Ausprägung.

Ein Beispiel: Bei Menschen, bei denen sich die Depression vor allem über körperliche Schmerzen äußert, finden sich in mehreren Gehirnregionen wie dem orbitofrontalen Kortex im Schnitt weniger Nervenzellen als bei Gesunden. Bei chronischen Depressionen hingegen entsprechen diese Regionen eher der Norm. Und

Männerdepression,
Erschöpfungsdepression,
hochfunktionale
Depression: nur andere
Begriffe für dieselbe
Erkrankung?

Personen mit einer spät auftretenden Depression haben teils sogar mehr Nervenzellen in diesen Bereichen.

Gleichzeitig gab es aber auch Symptomuntergruppen, etwa Menschen mit akuten Beeinträchtigungen, deren neuronale Signaturen sich deutlich voneinander unterscheiden. Die Forschenden sahen darin ein »many-to-one«-Prinzip: verschiedene Signaturen, die alle zum gleichen Symptombild führen.

Wie genau sich verschiedene Unterarten der Depression im Gehirn zeigen, muss allerdings noch näher untersucht werden. Die Erkenntnisse könnten auch für die Diagnose und Behandlung nützlich sein. Sicher ist jedoch schon: Die Erkrankung ist nicht nur oberflächlich vielfältig.

Leistung wird hochgeschätzt

Die Lebensrealität der Menschen kann alles noch komplexer machen. In Deutschland wird Leistung traditionell großgeschrieben. In seiner ersten Regierungserklärung forderte Bundeskanzler

Wie sich eine Depression äußern kann

Für die Diagnose einer depressiven Episode gemäß ICD-11, dem aktuellen Diagnosehandbuch der Weltgesundheitsorganisation, müssen mindestens fünf Symptome vorliegen, davon mindestens eines aus dem affektiven Cluster. Die Beschwerden müssen dabei seit mindestens zwei Wochen fast täglich auftreten.

Affektives Cluster

- gedrückte Stimmung
- mangelndes Interesse an Aktivitäten

Kognitives Cluster

- Hoffnungslosigkeit
- vermindertes Selbstwertgefühl oder übermäßige Schuldgefühle
- Konzentrationsprobleme oder verringerte Entscheidungsfähigkeit
- Gedanken an den Tod, Suizidgedanken oder Suizidversuch

Neurovegetatives Cluster

- deutliche Veränderung des Schlafs
- deutliche Veränderung von Appetit und Gewicht
- reduzierte Energie oder Erschöpfung
- psychomotorische Unruhe oder Verlangsamung

Quelle: Härter, M., Schneider, F., Der Nervenarzt 10.1007/s00115-025-01874-y, 2025

»Das ist alles die gleiche Depression«

Ulrich Hegerl, Psychiater

Friedrich Merz eine »gewaltige Kraftanstrengung, damit das Land wieder wettbewerbsfähiger wird«. Die Menschen sollten »wieder mehr und vor allem effizienter« arbeiten. Der Chef des Bundeskanzleramts, Thorsten Frei, ging noch einen Schritt weiter und warnte: »Wir alle müssen aufpassen, dass wir vor lauter Work-Life-Balance nicht die Arbeit aus dem Blick verlieren.«

Kann man es sich bei so einem gesellschaftlichen Mindset überhaupt erlauben, psychisch zu erkranken? Hochfunktionale Depressionen zeugen ja gerade von Leistung und Aufopferung. Spricht so eine Bezeichnung womöglich eher diejenigen an, die sich mit der klassischen

Diagnose nicht identifizieren können oder wollen?

Pia passte immer perfekt in die Leistungsgesellschaft: Einserschülerin, gute Noten im Studium plus Nebenjob und Praktika. »Ich habe alles in zuverlässiger, pflichtbewusster und disziplinierter Art gemacht«, sagt sie über sich selbst. Auch im Vollzeitjob als Personalreferentin, neben dem sie noch eine Masterarbeit schrieb; und sich zudem intensiv um ihre Mutter kümmerte. »Jeder hat mich von außen betrachtet und gesagt: ›Das ist mal eine toughe, starke Frau, wie die alles gewuppt bekommt!‹«

Als Pia sich endlich für eine Therapie entscheidet, weiß sie immer noch nichts

von ihrer Krankheit. »Ich habe mich tief erschöpft gefühlt, aber ich wollte einfach eine Kraftquelle finden, wo ich einmal in der Woche auftanken kann – damit ich dann wieder weitermachen kann wie bisher.«

Burn-on: Immer weitermachen, obwohl alles zu viel ist

So erlebt es auch der Psychologe Timo Schiele. Gemeinsam mit dem Mediziner Bert te Wildt hat er die Psychosomatische Klinik Kloster Dießen mitaufgebaut. Dort leitet er den Bereich »stressbedingte psychische Erkrankungen«. Häufig kommen Menschen zu ihm, die einfach »nur« wieder funktionieren

wollen: eine kurze Auszeit, ein bisschen Therapie. Und dann wieder zurück in den gehetzten Alltag.

Timo Schiele und Bert te Wildt haben durch ihre Erfahrungen in der Klinik einen eigenen Begriff für das Phänomen geformt: Burn-on. Das Immer-weiter-Machen, obwohl es eigentlich längst zu viel ist. Angelehnt an das bekannte Burn-out, wo es letztendlich wirklich zum Zusammenbruch kommt.

Jenseits der Diagnosen

Weder Burn-out noch Burn-on sind klinische Diagnosen. Aber es sind griffige Beschreibungen, in denen sich manche Leute eher wiederfinden. »Man könnte das Burn-on auch eine chronische Form der Erschöpfungsdepression nennen, bei der die Menschen trotzdem auf bestimmten Ebenen weiter funktionieren«, sagt Timo Schiele, der sich dem Phänomen gemeinsam mit Bert te Wildt ebenfalls in einem Buch gewidmet hat. Er sieht die Bezeichnung vor allem als Einstieg, um sich mit

dem Leben, den eigenen Zielen und letztlich sich selbst auseinanderzusetzen.

»Viele Betroffene kommen dann zu dem Schluss: Nein, sie möchten so nicht weitermachen und leiden darunter, wie sie gerade leben.« Dinge, die ihnen wichtig und wertvoll sind, kämen zu kurz, würden ständig weiter verschoben. »Wenn ich dies oder jenes geschafft habe, *dann* kann ich wieder entspannen, genießen, Freunde treffen – was auch immer«, beschreibt Timo Schiele eine häufige Argumentation. »Nur, dass nach dieser einen Aufgabe schon wieder die nächste lauert und dann die nächste.« Auf diese Weise kämen die Betroffenen nie bei ihren eigentlichen Zielen an.

Dass Begriffe wie Burn-on oder hochfunktionale Depression manchen Menschen eher zusagen, sieht auch Ulrich Hegerl. Allerdings betont er eine Gefahr, die dahintersteckt: »Solche Bezeichnungen suggerieren schnell, dass die Erkrankung rein durch den Stress, die Überlastung, die Arbeit entstanden ist.« Ein

Glaube, der weit verbreitet, aber grundlegend falsch sei. »Depressionen sind mehr als eine Reaktion auf schwierige Lebensumstände oder Belastungen.«

Ein gespannter Faden reißt leichter

Zunächst muss eine gewisse Veranlagung vorhanden sein. Das besagt das sogenannte Vulnerabilitäts-Stress-Modell: Grundlage für eine Depression ist die Vulnerabilität. Das ist häufig eine genetische Veranlagung, sie kann aber auch durch Traumatisierung in der Kindheit oder andere belastende Umstände erworben sein. Und erst, wenn Risikofaktoren gegeben sind, können Stress oder allgemein schwierige Situationen eine Erkrankung auslösen. Vorstellen kann man sich das wie einen Faden. Hängt er locker durch, kann Zug nicht viel ausrichten. Je stärker er aber gespannt ist, desto eher lassen ihn schon leichte Berührungen zerreißen.

Natürlich können Menschen generell unter harten Arbeitsbedingungen oder sonstigen Stressoren leiden. Ohne eine

gewisse Veranlagung für Depressionen führt das in der Regel aber eher zu einer vorübergehenden Erschöpfung, von der sich die Betroffenen wieder erholen.

Ob jemand an einer psychischen Störung wie einer Depression erkrankt ist oder nicht, lässt sich nicht immer leicht beantworten. Es gibt Abstufungen wie die subklinische Depression oder die leichte Depression. Psychotherapeuten oder Ärztinnen nutzen Diagnosehandbücher, um diese Frage zu klären. Aber um überhaupt an diesen Punkt zu gelangen, müssen Betroffene erst einmal merken, dass sie Unterstützung brauchen.

Pia Achilles hatte das selbst dann noch nicht wirklich erkannt, als sie schon in Therapie war. Ihre Therapeutin musste sie erst indirekt überreden, in eine Klinik zu gehen. »Du bist ja jetzt in dem Sinne nicht krank«, habe diese gesagt. Das sei ihr sehr wichtig gewesen: Sie wollte auf keinen Fall »schwach sein«. Die Therapeutin habe ihr das so verkauft, »dass ich in einer Kur mal wieder aufgepäppelt

werde und zu Kräften kommen kann«. In der Klinik habe die Chefärztin ihr dann in einem einzigen Gespräch klar und deutlich aufgezeigt, wie es wirklich um sie stand.

Andere Menschen, die ständig an ihrem persönlichen Limit sind, haben keine Therapeutin, die sie in die richtige Richtung schiebt. Vielleicht stellen sich manche bereits die Frage, ob sie Depressionen haben – oder stoßen auf die hochfunktionale Ausprägung und erkennen sich darin. Was aber deutet darauf hin, ob ein Besuch bei einer Ärztin oder einem Therapeuten sinnvoll ist?

»Ausschlaggebend ist der Leidensdruck«, sagt Psychologe Timo Schiele. »Wenn ich merke, dass ich so nicht weitermachen kann oder möchte, sollte ich mir Hilfe holen.« Häufig kämen Menschen in die Klinik, die durch irgendetwas aus dem Tritt gekommen sind, etwa durch eine körperliche Erkrankung. »Durch die äußeren Einschränkungen beginnen sie dann einen Reflexionsprozess.«

»Wer die Krankheit
nicht richtig versteht,
lässt sich ungewollt
zu falschen
Lebensentscheidungen
verleiten«

Ulrich Hegerl, Psychiater

Ulrich Hegerl beschreibt es bildlich: »Oft höre ich die Formulierung ›Es fühlt sich an, als würde mir der Boden unter den Füßen weggezogen‹.« Wenn man merke, dass sich über Wochen hinweg innerlich tiefgehend etwas verändere, sollte man das abklären lassen.

Für einige Menschen stellt es eine große Hürde dar, sich fachliche Hilfe zu suchen und einen Termin oder Therapieplatz zu bekommen. Die Wartezeiten sind vielerorts lang. Was etliche gar nicht wissen: Es muss nicht unbedingt eine Psychiaterin oder ein psychologischer Psychotherapeut sein. »Eine gute erste Anlaufstelle kann auch der Hausarzt sein«, erklärt Ulrich Hegerl.

Allgemeinmediziner behandeln viele Betroffene erfolgreich mit Antidepressiva. »Manchmal ist eine alleinige Behandlung mit Antidepressiva erfolgreich, manchmal eine alleinige Psychotherapie, und manchmal sollte beides angeboten werden.« Der Professor für Psychiatrie, Psychosomatik und Psychotherapie weiß, dass viele Menschen Psychophar-

maka skeptisch gegenüberstehen – und so viel Zeit bis zur Nutzung dieser Behandlungsmöglichkeit vergeht.

Wer nicht gleich zu einem Arzt oder einer Psychotherapeutin gehen möchte, kann außerdem über verschiedene andere Wege erste, niederschwellige Hilfe und Beratung erhalten. Zur Vorsicht rät Ulrich Hegerl allerdings bei selbsternannten Burn-out-Coaches, die eigentlich nie gelernt hätten, was eine Depression ist.

Stress ist nicht die alleinige Ursache

Denn wer die Krankheit nicht richtig versteht, könnte ungewollt zu falschen Lebensentscheidungen verleiten – unter der Annahme, die Depression sei durch Überarbeitung entstanden: »Dann suchen sich die Menschen vielleicht einen weniger anspruchsvollen, aber auch schlechter bezahlten Job oder gehen in Frührente. Und dann kommt die Depression wieder, da die Überarbeitung nicht schuld war, und sie haben ihre Situation eher deutlich verschlechtert.«

Wenn Sie eine Depression – welcher Art auch immer – bei sich vermuten, können Sie bei **diesen Anlaufstellen schnell Hilfe und eine erste Beratung** finden:

Hausarzt, Psychiater, psychologischer Psychotherapeut

- deutschlandweites Info-Telefon Depression **0800 33 44 5 33** (kostenfrei)
- www.deutsche-depressionshilfe.de: Wissen, Selbsttest und Adressen rund um das Thema Depression
- Kostenfreie E-Mail-Beratung: **bravetogether@deutsche-depressionshilfe.de**
- Patientenleitlinie unipolare Depression: fasst Informationen über Depression und Hilfsangebote zusammen
- Hilfe und Beratung bei den **sozialpsychiatrischen Diensten der Gesundheitsämter**
- www.diskussionsforum-depression.de: fachlich moderiertes Online-Forum zum Erfahrungsaustausch
- Für Angehörige: www.bapk.de und www.familiencoach-depression.de

Hilfreiche Strategien erlernen

Gerade bei Personen, die ständig am Limit leben, immer weiter Leistung bringen wollen und ihre Depressionen vielleicht lange gar nicht bemerkt haben, ist eine Psychotherapie häufig sinnvoll und hilfreich: um den Reflexionsprozess anzuregen und Strategien zu lernen, wie man seinen Alltag sinnvoller gestalten kann. Infrage kommt zum Beispiel die kognitive Verhaltenstherapie.

Pia hat in der Klinik erst einmal alle möglichen Behandlungen mitgemacht: Medikamente, Einzel- und Gruppentherapie, Achtsamkeitstraining sowie Kunst-, Musik- und Tanztherapie. Nach der Entlassung stimmte sie sich eng mit ihrer Psychotherapeutin ab. Heute geht es ihr wesentlich besser. Sie verfolgt noch immer viele Projekte gleichzeitig – geht aber mit einer großen Portion Gelassenheit an die Sache und konzentriert sich auf das Wesentliche: »Ich habe jetzt einen

klarerer Blick darauf, was für mich persönlich wirklich wichtig ist und was ich in der Welt bewegen will.« Dazu gehöre ihre Arbeit als Coach, bei der sie anderen Menschen Resilienz – psychische Widerstandsfähigkeit – vermittelt.

Und sie habe gelernt, sich zwischendurch zu entspannen. Das ist für sie weiterhin eine Gratwanderung: »Ich kippe auch immer mal wieder in das Extrem. Aber ich habe Strategien entwickelt, um mich da wieder rauszuholen.« So merke sie schnell, wenn sie sich in einer harten Arbeitswoche zu wenig bewege oder schlecht ernähre. Inzwischen kann sie aber gegensteuern. Und bleibt am Wochenende auch gerne mal allein zu Hause, ganz einfach für sich.

Impressum

GESCHÄFTSLEITUNG: Markus Bossle

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

TEAM SPEKTRUM: www.spektrum.de/info/team/

REDAKTION: redaktion@spektrum.de

VERLAG: Spektrum der Wissenschaft Verlagsgesellschaft mbH, Europaplatz 3, 69115 Heidelberg, Tel.: 06221 9126-600, Fax: 06221 9126-751; Amtsgericht Mannheim, HRB 338114, USt-IdNr. DE229038528

LESER- UND BESTELLSERVICE: Tel.: 06221 9126-743, E-Mail: service@spektrum.de

ANZEIGEN: Tel.: 06221 9126-600, E-Mail: 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: © 2026 (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.

ÄLTESTE KUNST DER MENSCHHEIT

Höhlenbild in Indonesien bricht Altersrekord

VON KARIN SCHLOTT



MAXIME AUBERT, GRIFFITH UNIVERSITY

Die bisher älteste bekannte Felskunst der Welt ziert eine Höhle bei Sulawesi – entstanden vor 67 800 Jahren. Sie verrät auch, wo und wann sich moderne Menschen den Weg nach Australien bahnten.

Fachleute haben in Indonesien die älteste Höhlenkunst der Welt ausfindig gemacht. Es handelt sich um ein kaum sichtbares Handnegativ, das Menschen vor mindestens 67 800 Jahren mit dem Mund an eine Höhlenwand auf der Insel Muna gesprüht hatten. Damit ist es etwa 16 600 Jahre älter als der bisherige Rekordhalter, ein Felsbild, das sich auf der größeren Nachbarinsel Sulawesi befindet. Wie Fachleute um Maxime Aubert von der australischen Griffith University in »Nature« berichten, breche das Handnegativ nicht nur einen Altersrekord, sondern sei auch das älteste archäologische Zeugnis für die Anwesenheit von *Homo sapiens*

in der Region Wallacea. Es liefere zudem neue Hinweise auf die Migrationsroute der ersten modernen Menschen Richtung Australien.

Aubert und sein Team kennen auf Sulawesi inzwischen fast zwei Dutzend Höhlenbilder, die sie in den Zeitraum von vor 52 100 bis vor 17 000 Jahren verorten. Die Malereien zieren Felswände im Karstgebiet Maros-Pangkep auf dem südwestlichen Arm der Insel. Ein Bild ist auch von Borneo bekannt. Seit 2019 richtet die Gruppe ihren Blick auf den Südosten Sulawesis, wo auch die Insel Muna liegt. Elf Motive in Höhlen der Insel datierten die Wissenschaftler mithilfe der Uran-Thorium-Methode, mit der sie bereits seit vielen Jahren arbeiten.

Dafür untersuchen sie die Kalkschichten, die sich im Lauf der Zeit über

Karin Schlott ist promovierte Archäologin und Redakteurin für Archäologie, Geschichte und Anthropologie.



HANDNEGATIV | Der 67 800 Jahre alte Handumriss ist fast nicht zu erkennen. Die hellen Fingerkonturen liegen rechts der Farbkarte und sind umgeben von Ocker. Die dunkelbraunen Motive unten und oben rechts sind jünger.

den Malereien abgelagert haben. In Proben dieser Kalziumkarbonat-Lagen bestimmen sie das Mengenverhältnis eines radioaktiven Uranisotops und von dessen Zerfallsprodukten. Daraus lässt sich das ungefähre Alter der Kalkschichten ableiten, das zugleich ein Mindestal-

ter für die Bilder liefert. Seit 2024 nutzen die Forscher eine präzisere Version ihrer Methode, die es ermöglicht, exakt jene Ablagerungen zu identifizieren, die direkt auf den Darstellungen haften. Damit lässt sich deren Alter noch genauer bestimmen.

Auf diesem Weg erwies sich ein Handnegativ in der Höhle Liang Medanduno auf Muna als verblüffend alt: mindestens 67800 Jahre. Neben diesem Abdruck überlagern sich zwei weitere verwitterte Motive, die zu unterschiedlichen Zeiten entstanden waren: vor min-

destens 60 900 Jahren und vor höchstens 32 800 Jahren. Menschen hatten offenbar im Verlauf von etwa 35 000 Jahren immer wieder die Wände verziert. Und vielleicht noch danach: Das Bild eines Haushuhns könnte nur wenige Jahrtausende alt sein.

Klauen statt Hände

Bei den Handabdrücken gaben die Eiszeitkünstler die Finger verlängert wieder, wahrscheinlich indem sie beim Sprühen ihre Hand verschoben oder zusätzlich Farbe auftrugen. Die genaue Bedeutung sei zwar bislang unklar, möglicherweise sollte aber eine enge Verbindung von Mensch und Tier symbolisiert werden. »Etwas, das wir vermutlich auch in den sehr frühen Malereien auf Sulawesi sehen«, erklärt Co-Autor Adam Brumm von der Griffith University in einer Pressemitteilung. »Dort gibt es mindestens ein Beispiel für eine Szene mit Figuren, die wir als Darstellungen teils menschlicher, teils tierischer Wesen interpretieren.« So kunstfertig und durchdacht zu



AHDI AGUS OKTAVIANA, GRIFFITH UNIVERSITY

KLAUEN | An einer Höhlenwand auf Sulawesi haben die Forscher ebenfalls Handumrisse entdeckt, die ähnlich gestaltet sind wie der Fund auf Muna. Der Künstler hatte die Finger verlängert dargestellt, vielleicht um sie tierähnlich zu machen.

arbeiten, dazu seien einzig anatomisch moderne Menschen in der Lage.

Nach Ausweis archäologischer Funde hatte *Homo sapiens* vor circa 65000 Jahren australischen Boden betreten. Zuvor muss er durch die Region Wallacea gekommen sein, das Übergangsgebiet der Faunen- und Florengrenze zu Australien. Das neue Handnegativ aus Muna bestärke nun die Ankunft moderner Menschen zu jener Zeit.

Sie überquerten damals die Wallace-Linie, die als tiefer Meeresgraben zwischen den Inseln Sulawesi und Borneo sowie Lombok und Bali verläuft. Welche Route sie dabei wählten, ist bisher archäologisch nicht gesichert. Als am wahrscheinlichsten gilt der Weg über Borneo, doch die Route über Java wäre ebenfalls denkbar. Nun zeigt sich: Die Fundplätze der frühesten Kunstwerke der Menschheit liegen entlang der Borneo-Sulawesi-Route und machen momentan diesen Weg wahrscheinlich.

Das Forscherteam will sich daher weiter auf die Suche nach sehr alter Kunst

Menschenmigration nach Australien

Die Funde alter Höhlenkunst weisen den Weg: Möglicherweise überquerte *Homo sapiens* die Wallace-Linie von Borneo aus.



Grafik: Spektrum der Wissenschaft • Quelle: Oktaviana, A.A. et al., Nature 10.1038/s41586-025-09968-y, 2026; Britannica, s.v. Madagascan region

Spektrum
der Wissenschaft

machen. »Wenn die Menschen von West nach Ost gewandert sind, dann würde es naheliegen, dass sie Borneo vor Sulawesi erreichten, und die Felskunst auf Borneo müsste dann noch älter sein«, erklärt Aubert in einer Pressekonferenz.

***Homo erectus* war schon eher da**

Die Höhlenkünstler waren jedoch nicht die ersten Menschen, die den Sprung über die Wallace-Linie gewagt hatten. Steingeräte aus Sulawesi bezeugen, dass vor mindestens 1,04 Millionen Jahren, wenn nicht sogar schon vor 1,48 Millionen Jahren Frühmenschen, wahrscheinlich *Homo erectus*, auf die Insel gelangt waren.

Ähnlich alte Höhlenkunst, wie sie Aubert und sein Team auf der Insel Muna entdeckt haben, wollen Fachleute bereits in Europa identifiziert haben. Ein Handnegativ in der nordspanischen Höhle Maltravieso datieren sie in eine Zeit von vor 66700 Jahren. Das Alter, das ebenfalls mithilfe der Uran-Thorium-Methode bestimmt wurde, ist unter Experten allerdings umstritten. Denn sollte es korrekt sein, hätten Neandertaler ihre Handumrisse mit Farbe an die Höhlenwand gepustet. *Homo sapiens* war damals noch lange nicht auf dem Weg nach Europa. ↩

IN KOOPERATION MIT



Fliegenglas

Spektrum HÖRBÜCHER

Unsere Magazine
sind jetzt hörbar

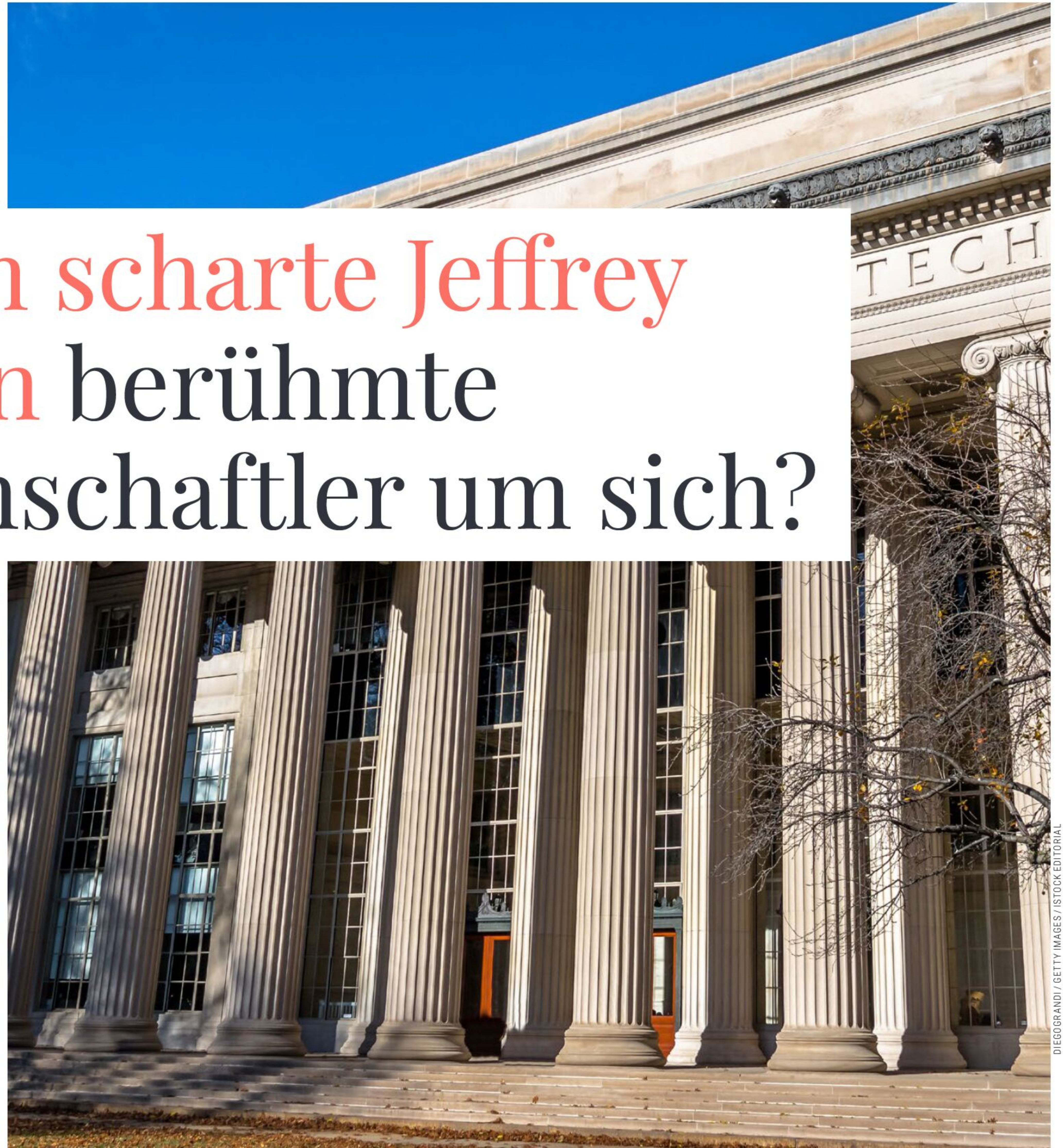
Im Abo nur 8,99 € im
Monat und jederzeit
kündbar.

Jetzt eine Woche
gratis testen!

HIER INFORMIEREN

Warum scharte Jeffrey Epstein berühmte Wissenschaftler um sich?

VON DAN VERGANO



Von Stephen Hawking bis Steven Pinker: Viele prominente Forscher standen in Kontakt mit dem verstorbenen Sexualstraftäter Jeffrey Epstein. Das wirft Fragen über Moral, Geld und Macht in der Forschung auf.

Im Dezember 2025 veröffentlichte das US-Justizministerium eine erste Reihe von Dokumenten über Jeffrey Epstein, den verstorbenen Investmentbanker und verurteilten Sexualstraftäter. Unter den Tausenden von Bildern befand sich auch ein kurzes Video – das einzige in der gesamten Sammlung. Die viersekündige Aufnahme zeigt den berühmten Psychologen und Schriftsteller Steven Pinker von der Harvard University, der mit Epstein in dessen inzwischen berüchtigtem Privatflugzeug sitzt. Damals waren sie auf dem Weg zu einem TED-Vortrag von Pinker. Selbst damals, im Jahr 2002 (und damit Jahre vor Epsteins erster strafrechtlicher Verurtei-

lung) sei es kein angenehmer Flug gewesen, sagt Pinker: »Ich mochte Epstein auf Anhieb nicht und hielt ihn für einen Dilettanten und Besserwisser.«

Epstein starb 2019 in einem Bundesgefängnis, als er sich einem Prozess wegen Sexhandels stellen sollte. Der Investmentbanker umgab sich gerne mit berühmten Persönlichkeiten – darunter auch einige Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler. Voraussichtlich werden noch weitere Unterlagen aus einem angeblichen Bestand von 5,2 Millionen Dokumenten veröffentlicht, und viele stellen sich die Frage, was diese über die Forschungswelt preisgeben werden. Bereits jetzt belegen veröffentlichte E-Mails, Notizen, Listen, Videos und Ermittlungsakten, dass etliche prominente Wissenschaftler mit Epstein in Verbindung standen.

Dan Vergano ist Redakteur bei »Scientific American«.

Neben renommierten Experten, Politikern und Milliardären wie Mick Jagger, Bill Clinton oder Donald Trump (in Zusammenhang mit den Fotos wird keiner von ihnen eines Vergehens angeklagt) warb Epstein auch jahrelang um die Gunst von Wissenschaftlern. Das führte im Jahr 2020 zu Untersuchungen an zwei Universitäten: dem Massachusetts Institute of Technology (MIT) und der Harvard University. Aus den 2025 veröffentlichten E-Mails geht hervor, dass der Astronom Lawrence Krauss und der Linguist Noam Chomsky noch lange nach Bekanntwerden von Epsteins Verbrechen mit ihm in Verbindung standen. Und im November 2025 leitete die Harvard University erneut eine Untersuchung ein, um die Verbindungen zwischen Epstein und dem Ökonomen Lawrence Summers, dem ehemaligen Präsidenten der Universität, zu untersuchen.

Viele waren natürlich an Epsteins Vermögen interessiert. Der Investmentbanker war bekannt dafür, gerne Forschungsgelder zu spenden. »Fachleute brauchen

Förderer, sie brauchen Unterstützung«, stellt Bruce Lewenstein fest, Experte für Wissenschaftskommunikation an der Cornell University. Wohlhabende Förderer finanzieren Wissenschaftler seit Jahrhunderten; sie haben Teleskope, neurowissenschaftliche Institute, Experimente zur Malariaprävention und vieles mehr gesponsert. »Das ist weder gut noch schlecht, sondern es ist einfach so«, sagt Lewenstein. Im Gegensatz zu vielen anderen Spendern verlangte Epstein in der Regel nicht, dass sein Name an einem Gebäude angebracht wurde. Und auch thematisch ließ er sich nicht einschränken; er spendete Geld für alles Mögliche, von Tanzgruppen bis hin zum Council on Foreign Relations.

Ein Straftäter als großzügiger Spender

Vor seiner ersten Verurteilung im Jahr 2008 wegen Anwerbung von Minderjährigen zur Prostitution spendete Epstein insgesamt mehr als neun Millionen US-Dollar an die Harvard University. 6,5 Millionen US-Dollar davon gingen an

das Harvard Program for Evolutionary Dynamics (PED), das der Mathematiker Martin Nowak leitete. Epstein besuchte dieses Programm auch nach seiner Verurteilung – allein im Jahr 2018 mehr als 40-mal – und unterhielt dort ein Büro. Außerdem war er 2005 und 2006 als Gastwissenschaftler an der Universität tätig, nachdem er dem Fachbereich Psychologie 200000 US-Dollar gespendet hatte.

Und dann gab es noch Epsteins Spenden an das MIT: Er förderte das MIT Media Lab mit 525000 US-Dollar und den Professor für Maschinenbau Seth Lloyd mit 225000 US-Dollar. Beide Spenden erfolgten nach seiner Verurteilung im Jahr 2008. Epstein behauptete, weitere sieben Millionen US-Dollar an Spenden von den Milliardären Bill Gates und Leon Black für die Universität arrangiert zu haben, was Gates jedoch bestreitet.

»Wissenschaftler, Universitäten, Künstler und andere gemeinnützige Projekte, die von Philanthropie abhängig sind, stellen sich routinemäßig mit



JEFFREY EPSTEIN UMRINGT VON HARVARD-PROFESSOREN | Das Bild zeigt Jeffrey Epstein (rechts in Hintergrund) mit vielen verschiedenen Fachleuten bei einem Abendessen an der Harvard University im Jahr 2004.

»Epstein hat die Leichtgläubigkeit der Fachwelt ausgenutzt«

Steven Pinker, Psychologe

wohlhabenden Menschen gut, die bereit sind, mit Geld um sich zu werfen«, sagt Pinker. »Nur sehr wenige dieser Spender sind abscheuliche Psychopathen. Epstein hat die Leichtgläubigkeit der Fachwelt ausgenutzt.«

Laut Pinker hatte sein Literaturagent John Brockman den Flug mit Epstein vor dem TED-Vortrag organisiert. Brockman leitet die Edge Foundation, die auch Salons für Epstein veranstaltete, die von der Presse als »exklusiver intellektueller Boys Club« bezeichnet wurden (Brockman und seine Organisation wollten keine Stellungnahme abgeben; es gibt keine Berichte über Fehlverhalten während der Veranstaltungen). Epstein finanzierte die Edge Foundation, die Partys für Milliardäre

veranstaltete und für ihn Kontakte zu Personen wie Pinker knüpfte.

Diese Kontakte zahlten sich aus: Trotz seiner Abneigung gegen Epstein trug Pinker unwissentlich zu dessen Verteidigung bei einem Prozess bei. 2007 verfasste Pinker eine Stellungnahme zur Semantik des US-amerikanischen Prostitutionsgesetzes als Gefallen für einen Bekannten, den Harvard-Professor Alan Dershowitz. Der vertrat damals Epstein vor Gericht als Anwalt. Pinker sagte, er habe nicht gewusst, dass sein Text als Gutachten für Epsteins Verteidigung bestimmt war. »Ich habe einem Kollegen einen professionellen Gefallen getan – das ist Routine«, sagt Pinker. »Hätte ich damals gewusst, was heute bekannt ist, hätte ich nicht zugestimmt.«

Was wollte Epstein von den Wissenschaftlern?

Abgesehen von einem Rechtsgutachten: Welchen Vorteil erhoffte sich Epstein von seinem Kontakt mit den Wissenschaftlern? Die einfachste Erklärung ist, dass Epstein gerne prominente Persönlichkeiten um sich scharte. Sein finanzielles Netzwerk basierte darauf, eine Aura von Reichtum und Einfluss zu schaffen, um Investoren anzulocken. Er war ein »Menschen-Sammler«, der Informationen und Gefälligkeiten austauschte, erklärte der Epstein-Biograf Barry Levine.

Wissenschaftler waren nur eine von vielen einflussreichen Gruppen, die Epstein um sich sammelte. Er pflegte den Kontakt zu ihnen in einer Zeit, »die ein kultureller Höhepunkt für Forschende

war«, erklärt der Wissenschaftskommunikator Declan Fahy von der Dublin City University. Fachleute wie Stephen Hawking schrieben Bestseller, erschienen in »Vanity Fair« und »Vogue« und hielten TED-Vorträge, die online viel Beachtung fanden. »Sie stiegen in die Machtelite auf«, sagt Fahy. So war es für Epstein sinnvoll, sich mit ihnen zu umgeben.

Laut Ghislaine Maxwell, Epsteins ehemaliger Freundin, die 2021 unter anderem wegen Sexhandel verurteilt wurde, haben die Verbindungen durch ihren Vater Robert Maxwell (den Gründer des Wissenschaftsverlags Pergamon Press) dazu geführt, dass Epstein viele renommierte Fachleute vom Santa Fe Institute kennenlernte. 2010 spendete Epstein 25000 US-Dollar an das Institut. »Epstein lud die Wissenschaftler zu Abendessen in meinem Haus ein«, sagte Maxwell laut dem Protokoll des Justizministeriums.

Der Publizist Evgeny Morozov erzählte, er sei Epstein durch Brockman be-

gegnet: den Literaturagenten, der Pinker dazu überredete, in Epsteins Privatjet zu steigen. Angeblich habe der Agent auch Morozov dazu bringen wollen, an Epsteins »Milliardärs-Dinners« teilzunehmen – was der Publizist jedoch ablehnte.

Brockmans Edge Foundation spielte eine wichtige Rolle als Bindeglied zwischen der Fachwelt und Epstein. Die Organisation war von 1998 bis 2018 in akademischen Kreisen allgegenwärtig und veröffentlichte zahlreiche Bücher zu wissenschaftlichen Themen. Insgesamt erhielt die Edge Foundation von 2001 bis 2015 mehr als 638000 US-Dollar von Epstein, was ihn zu einem der wichtigsten Geldgeber machte. Die Organisation stand auch in Verbindung mit dem Physiker Lawrence Krauss, dem 2018 sexuelles Fehlverhalten vorgeworfen wurde, was dieser jedoch zurückwies. Aus veröffentlichten E-Mail-Aufzeichnungen geht hervor, dass Krauss diesbezüglich Epstein um Rat gebeten hatte.

Das Forschungsinteresse des Investmentbankers

Epstein war aber auch inhaltlich an einigen Forschungsbereichen interessiert. Unter anderem faszinierte ihn der genetische Determinismus – eine Idee, die aus der Zeit der Eugenik stammt und in einigen wohlhabenden Kreisen nach wie vor en vogue ist. Sie findet sich unter anderem in Unternehmen wieder, die Designer-Baby-Dienstleistungen für potenzielle Eltern anbieten. 2019 berichtete die »New York Times«, dass Epstein eine »Baby-Ranch« gründen wollte, um die Kinder der Frauen großzuziehen, die er geschwängert hatte.

»Angesichts dieser Haltung ist es besonders beunruhigend, dass er seine Großzügigkeit auf die Erforschung der genetischen Grundlagen menschlichen Verhaltens konzentrierte«, schrieb die Wissenschaftshistorikerin Naomi Oreskes 2020 in einem Artikel für »Scientific American«. »Wissenschaftler mögen

»Wir haben ein idealisiertes Bild von Wissenschaftlern geschaffen, das nicht der Realität entspricht«

Bruce Lewenstein, Experte für Wissenschaftskommunikation

behaupten, dass Epsteins Geld sie in keiner Weise dazu veranlasst hat, ihre Standards zu senken, aber wir haben zahlreiche Belege dafür, dass die Interessen der Geldgeber oft die wissenschaftliche Arbeit beeinflussen.« In Bezug auf Epstein fügt Oreskes nun hinzu: »Die anhaltende Aufmerksamkeit der Presse erinnert uns daran, dass manche Gelder verdorben sind.«

Der vielleicht einzige direkte Beweis für Epsteins eigene wissenschaftliche Ambitionen stammt aus einem Antrag aus dem Jahr 2005, bei dem er darum bat, als Gastwissenschaftler an der Harvard University tätig werden zu dürfen:

»Ich möchte die Gründe für Gruppenverhalten studieren, beispielsweise ›soziale Prothesensysteme‹.« Dafür wollte er Untersuchungen mittels Magnetresonanztomografie an Freiwilligen vornehmen. »Menschen können als ›Prothesen‹ fungieren, indem sie unsere kognitiven Fähigkeiten erweitern und uns helfen, unsere Emotionen zu regulieren – und damit im Wesentlichen als Erweiterungen unserer selbst dienen.« Harvard bewilligte ihm zweimal ein solches Forschungsstipendium, obwohl eine nachfolgende Untersuchung im Jahr 2020 feststellte, dass Epstein völlig unqualifiziert war.

Geld regiert die Welt – auch in der Wissenschaft

Oft wird übersehen, dass auch in der Wissenschaft Geld eine enorme Rolle spielt. Finanzielle Mittel entscheiden darüber, welche Forschungsprojekte durchgeführt werden und welche nicht. Daher sollte es eigentlich nicht verwundern, dass prominente Fachleute ebenso wie Rockstars oder Politiker in Epsteins Bann gerieten. »Wir haben ein idealisiertes Bild von Wissenschaftlern geschaffen, das nicht der Realität entspricht«, sagt Lewenstein. »Forschende genießen es, als Experten mit einem hohen Status angesehen zu werden.«

Die meisten von Epstein unterstützten Wissenschaftler waren nicht offen politisch und vertraten oft die allgemein akzeptierte Ansicht, dass Wissenschaft den Fortschritt antreibe, sagt Fahy. Heute sei die Lage jedoch anders. »Die öffentliche Debatte über Wissenschaft ist in den USA – insbesondere bei Themen wie Klima und Impfungen – schärfer, gespalten und zutiefst politisch geworden«, erklärt Fahy.

Trotzdem wundert sich Pinker, warum seine vier Sekunden lange Aufnahme aus Epsteins Privatjet das einzige Video in den Akten ist, welche die Trump-Regierung freigegeben hat. Vielleicht, um Berichte wie diesen über das Verhältnis der Fachwelt zu Epstein zu generieren, sagt er. »Je mehr Journalisten über andere Personen auf Fotos schreiben, desto weniger Aufmerksamkeit bekommt Trumps Beziehung zu Epstein.« ↩

SCIENTIFIC AMERICAN

© Scientific American

Scientific American, [Why did Jeffrey Epstein cultivate famous scientists?](#), 2026.

Übersetzung: Manon Bischoff

Spektrum
der Wissenschaft
KOMPAKT

DEMOKRATIE UNTER DRUCK

Persönlichkeit | Die Anziehungskraft
autoritärer Führer

Trumpismus | Autokratie in den USA

Fehlinformation | Wie gefährlich sind
soziale Medien?

HIER DOWNLOADEN

FÜR NUR
€ 5,99

OHRSTÖPSEL

Stille Nacht, gute Nacht?

VON CAROLIN JOHANNSEN



ALEKSANDAR GEORGIEV / GETTY IMAGES / E+

Mehr als ein Drittel der Deutschen hat Schlafprobleme, wobei einer der häufigsten Störfaktoren Lärm ist. Ohrstöpsel können helfen, bringen aber auch Risiken mit sich – auf körperlicher und psychischer Ebene.

Schon ein paar kräftige Schnarcher der besseren Hälfte reichen, und man ist hellwach. Auch Straßenlärm oder Geräusche der Nachbarn sind häufige Gründe, warum Menschen nicht gut schlafen. Viele reagieren dann pragmatisch und greifen zu Ohrstöpseln. Laut einer YouGov-Umfrage mit 5363 erwachsenen Teilnehmerinnen und Teilnehmern nutzt sie etwa ein Viertel der Bevölkerung, acht Prozent sogar »immer« oder »oft«. Aber wie gesund ist es, die Nacht quasi geräuschlos zu verbringen?

Carolyn Johannsen studierte Skandinavistik und Psychologie in Freiburg und Umeå und war danach Digitalredakteurin bei einer Lokalzeitung. Seit 2024 ist sie freie Reporterin.

Rund ein Drittel des Tages sollte man schlafen – so lautet die gängige Empfehlung. Sieben bis acht Stunden sind optimal, am besten nachts und möglichst störungsfrei. Doch immer mehr Menschen haben Schlafprobleme. Fast 40 Prozent der Deutschen schlafen nicht genug, zeigen Zahlen des Online-Statistikportals Statista. Schlafforscher Ingo Fietze kann das bestätigen. »Die Zahl der Menschen mit Schlafstörungen nimmt zu und das Alter geht immer weiter nach unten«, sagt er. Seit 35 Jahren forscht Fietze im Schlaflabor der Charité Berlin. Seine Beobachtung: »Die häufigsten Störfaktoren sind Stress und Ängste, danach folgt Lärm, dann Temperatur und Licht.«

Wer lärmempfindlich ist, bleibt lärmempfindlich

Wer gut schlafen will, sollte alles eliminieren, was von außen die Schlafqualität beeinträchtigt, rät der Mediziner. Doch nicht immer bringt das den gewünschten Erfolg. Denn wie sensibel Personen auf Geräusche reagieren, ist individuell sehr verschieden. »Lärmempfindlichkeit ist ein stabiles Persönlichkeitsmerkmal«, erklärt Psychoakustiker André Fiebig. Er lehrt an der TU Berlin und forscht zu den psychischen Auswirkungen von Umgebungsgeräuschen. Während manche Menschen neben laut schnarchenden Partnern schlafen können, ist anderen schon das leise Ticken eines Weckers zu viel, sagt Fiebig. Das Problem: Stabile Persönlichkeitsmerkmale sind nicht beeinflussbar. Wer lärmempfindlich ist, bleibt in der Regel lärmempfindlich.

Ingo Fietze empfiehlt generell eine Schlafumgebung, die ruhiger ist als 30 Dezibel, um eine ungestörte Nachtruhe zu gewährleisten. Die Lautstärke entspricht etwa einem leisen Flüstern oder

dem Ticken einer Uhr. »Je stiller, desto besser«, erklärt der Forscher. Schon bei nächtlichen Geräuschquellen von 40 Dezibel könne die subjektive Schlafqualität sinken. Ab etwa 55 Dezibel werde die Schlafstruktur messbar gestört, wie Fietze bei seinen Experimenten im Schlaflabor ermittelt hat. Dementsprechend hatten Probanden einer Studie der FU Berlin in einer Schallumgebung von maximal 33 Dezibel die längsten Tiefschlafphasen und wachten am seltensten auf.

Gleichmäßige, monotone Hintergrundgeräusche hingegen können einschläfernd wirken, sagt Fietze. Etwa ein Podcast mit einer sonoren Männerstimme, die eine eher langweilige Geschichte erzählt. Problematisch sind die zufälligen, lauten Geräusche: zuschlagende Türen, kräftige Stimmen, Hundegebell. Im Innenraum beeinflussen bereits einzelne Schallspitzen von 35 Dezibel die Schlafstadien. Selbst in der Tiefschlafphase, in der man am wenigsten lärmempfindlich ist, können solche Schallereignisse aufwecken.

AUF EINEN BLICK

Ambivalenter Frieden für die Ohren

01 Nächtliche Geräusche können den Schlaf erheblich stören. Wie sensibel Personen darauf reagieren, ist individuell sehr verschieden.

02 Viele Menschen greifen zu Ohrstöpseln, um einen ruhigen Schlaf zu gewährleisten. Doch das Tragen von Gehörschutz hat nicht nur Vorteile.

03 So kann der häufige Gebrauch von Ohropax und Ähnlichem zu einer Art Abhängigkeit führen: Ohne Stöpsel geht es irgendwann gar nicht mehr. Sie können auch Entzündungen im Gehörgang zur Folge haben.



»Lärmempfindlichkeit ist ein stabiles Persönlichkeitsmerkmal«

André Fiebig, Psychoakustiker

Der Hörsinn als Gefahrendetektor

Eine weit verbreitete Lösung dagegen sind Ohrstöpsel. Seit 1907 sorgen sie bereits für stillen Schlaf: In diesem Jahr perfektionierte der Apotheker Maximilian Negwer eine Mischung aus Baumwolle und hautfreundlichem Paraffinwachs und gab ihr den einprägsamen Namen »Ohropax« – deutsch-lateinisch für »Ohr-Frieden«. Seine Erfindung hatte sofort Erfolg. Selbst Franz Kafka ließ sich die Lärmschutzkugeln nach Prag schicken und schrieb: »Ohne Ohropax bei Tag und Nacht ginge es gar nicht.« Die Ohr-

stöpsel beseitigen Geräusche zwar nicht komplett, dämpfen aber Pegelspitzen und senken insgesamt die Lärmbelastung. Das kann bei vielen Menschen die Einschlafzeit verkürzen und Aufwachreaktionen seltener machen, wie auch aktuelle Studien zeigen.

Eine praktische Lösung, denn »absolute Stille gibt es kaum noch, gerade in industrialisierten Ländern«, sagt André Fiebig. Dennoch sieht er die Verwendung von Ohrstöpseln kritisch, denn aus evolutionärer Sicht ist Hören ein wichtiger Sinn. »Das Ohr ist zum Erkennen von

Gefahren vorgesehen, deswegen nehmen wir auch im Schlaf unsere akustische Umgebung wahr«, erklärt Fiebig. Nutzt man aber Ohrstöpsel, dann wird der Gehörsinn beeinträchtigt und das, so der Psychoakustiker, kann Stress produzieren. »Wenn das Ohr als primäres Warnorgan nicht mehr funktioniert, kann das verunsichern.«

Das Bewusstsein für Gehörschutz ist gewachsen

Schlafforscher Fietze sieht derweil die andere Seite des Problems: »Wenn man

»Je stiller, desto besser«

Ingo Fietze, Schlafmediziner

mindestens dreimal in der Woche und über einen Zeitraum von mehr als drei Monaten beim Schlafen gestört wird, dann beginnt man, ernsthafte Probleme zu entwickeln.« Rund ein Drittel aller Deutschen leidet unter Schlafstörungen, ein weiteres Drittel hat einen sensiblen Schlaf und nur das letzte Drittel bestehe aus »begnadeten Schläfern«, sagt Fietze. Die Gefahr, Schlafstörungen zu entwickeln oder weiter auszubilden, sei somit sehr hoch.

»Lieber trage ich jede Nacht Gehörschutz und schlafe erholt, bevor ich gar nicht schlafe«, sagt auch Eberhard Schmidt, Präsident der Bundesin-nung der Hörakustiker – rät aber ebenfalls zur Vorsicht. Aus Sicht des Hörakustikermeisters können die Stöpsel

eine gute Lösung für einen erholsamen Schlaf sein. Doch Gehörschutz ist nicht gleich Gehörschutz, betont er. Zwar werde »Ohropax« inzwischen fast synonym für Ohrstöpsel aller Art genutzt, tatsächlich existieren heutzutage aber die unterschiedlichsten Modelle für Tag und Nacht. »Die Anzahl der Produkte hat zugenommen«, sagt Schmidt, sieht den Grund allerdings nicht unbedingt in der lauter gewordenen Umwelt. »Das Bewusstsein für Gehörschutz ist gewachsen«, erklärt er. So gebe es inzwischen auch Produkte für den Alltag, die beispielsweise von Musikern und bei Konzerten genutzt werden. Schmidt warnt allerdings: »Sie funktionieren nicht für jeden und auch nicht dauerhaft.« Statt zu Ohrstöpseln aus Drogerie oder Apo-

theke rät der Hörakustiker daher zu individuell angefertigten Varianten – aus mehreren Gründen.

Ohrstöpsel nach Maß

Standardlösungen aus Schaum, Wachs oder weichem Silikon funktionieren nur, wenn sie korrekt eingesetzt werden und der Gehörgang sie toleriert. Doch Ohrkanäle unterscheiden sich stark in Durchmesser, Krümmungen und Hautempfindlichkeit. »Viele Gehörgänge sind kleiner oder verwinkelter. Dann wird der Stöpsel nicht richtig platziert, dämpft schlecht oder drückt«, sagt Eberhard Schmidt. In solchen Fällen bietet maßgefertigter Hörschutz Vorteile. Aus einem Ohrabdruck entsteht im Labor mittels Scan und 3D-Fertigung eine passge-

naue Otoplastik aus biokompatiblen, sehr weichem Silikon. Der Weichheitsgrad lässt sich je nach Vorliebe abstimmen, und für Seitenschläfer sind flache, tiefsitzende Formen vorteilhaft, weil sie die Ohrmuschel entlasten. Ein weiterer Pluspunkt: Die maßgefertigten Stöpsel sind langlebiger als Standardmodelle. Allerdings sind sie auch kostspielig.

Obwohl die medizinischen Ohrstöpsel einige Vorteile haben, warnt Eberhard Schmidt vor Problemen. »Wer häufig Gehörschutz nutzt, sollte das mit einem Hals-Nasen-Ohren-Arzt abklären«, sagt er. Denn Menschen mit Wucherungen im Gehörgang sollten eher darauf verzichten. Zudem bilden manche Personen mehr Ohrenschmalz. Fehlende Belüftung und Reinigung des Ohrs können dann Entzündungen und Infektionen begünstigen. Helfen kann eine gute Hygiene. Schmidt rät, Silikonstöpsel mit lauwarmem Wasser sowie milder Seife zu reinigen und anschließend zu trocknen.

Psychoakustiker Fiebig hat dennoch Bedenken: »Durch wiederholte Handlungen läuft man Gefahr, dass etwas zunehmend notwendig wird.« Wer jede Nacht Ohrstöpsel trägt, kann theoretisch eine psychische Abhängigkeit entwickeln und irgendwann nicht mehr ohne sie einschlafen. Kann man von Ohropax also quasi süchtig werden? »Ich wüsste nicht, dass es Studien dazu gibt«, sagt Fiebig. Vielmehr bezieht er die Abhängigkeit darauf, dass die Stille zur Gewohnheit wird und die Nutzung der Ohrstöpsel zu einem Ritual.

Süchtig nach Stille?

Rituale sieht die Deutsche Gesellschaft für Schlafforschung und Schlafmedizin eigentlich als positiv an. Auch auf ihrer Website empfiehlt die DGSM »persönliche Einschlafrituale«, verzichtet aber auf konkrete Anleitungen. Unabhängig davon lohnt es sich, zunächst das Schlafzimmer zu optimieren, bevor man zu Ohrstöpseln greift: gluckernde Heizkör-

»Wer häufig Gehörschutz nutzt, sollte das mit einem Hals-Nasen-Ohren-Arzt abklären«

Eberhard Schmidt,
Hörakustiker

per entlüften, alte Fensterdichtungen erneuern, tickende Uhren entfernen, Geräte leiser stellen. Viel nächtlicher Lärm ist hausgemacht und technisch lösbar. Nur wenn Lärmquellen von außen nicht beherrschbar sind, sieht Fiebig in Gehörschutz ein geeignetes Hilfsmittel. Tatsächlich werde absolute Stille von vielen Menschen sogar als negativ empfunden. »Wir haben beobachtet, dass sich Probanden in reflektionsarmen, künstlich stillen Räumen nicht wohlfühlen«, erzählt Fiebig.

»Das Ziel ist also nicht die absolute Stille«, betont der Psychoakustiker. »Evolutionär und psychologisch gesehen sollte man nicht dauerhaft alle Geräusche unterdrücken.« So führt absolute Stille mitunter zu akustischen Halluzinationen, wie Experimente in

schallarmen Kabinen nahelegen. Die Probanden hören dann Geräusche, die gar nicht da sind, was wiederum Angst verursachen kann.

Schlafforscher Fietze hingegen ist pragmatisch. Er sieht es zwar nicht als optimal an, jede Nacht Ohrstöpsel zu verwenden, »aber wenn man dadurch einen erholten Schlaf hat, ist das für die Psyche und den Körper besser, als wenn man nicht gut schläft«. Sein Rat: Alles, was dem Schlaf guttut und medizinisch unbedenklich ist, kann als Ritual etabliert werden.

Lieber abhängig als immer schlafgestört
Für gesunde Ohren sei die Verwendung von Gehörschutz unproblematisch, sagt Schmidt und vergleicht es mit dem Tragen von Kontaktlinsen. Dennoch rät er in

generell ruhigen Umgebungen von Ohrstöpseln eher ab. Das Gehirn gewöhne sich an die Ruhe und man werde geräuschempfindlicher, sagt er.

»Für lärmsensible Menschen und sensible Schläfer können Ohrstöpsel sehr hilfreich sein«, resümiert Fietze. »Aber absolute Geräuschlosigkeit ist weder nötig noch zwingend gesund«, ergänzt Psychoakustiker Fiebig. Die Experten sind sich einig: Wichtiger und nachhaltiger als totale Stille ist ein flexibler Umgang mit Geräuschen. Dazu gehört auch, in lauten Nächten lieber zu Ohrstöpseln zu greifen und eine Abhängigkeit von Ritualen zu riskieren, als überhaupt nicht zu schlafen.





Peter D. Kramer | **Wirksam** – Was Wissenschaft und Praxis über Antidepressiva lehren | Verlag: W. Kohlhammer, Stuttgart 2025, 392 S. | ISBN: 9783170466449 | 36,00 € | [bei Amazon.de kaufen](https://www.amazon.de)

Ein Plädoyer für Antidepressiva

Dieses Buch ist der idiosynkratische Versuch eines Klinikers, eines Sünders, eine Antwort zu finden.« So formuliert der amerikanische Psychiater Peter D. Kramer sein Anliegen. In »Wirksam« widmet er sich der Rolle von Antidepressiva in unserer Gesellschaft. Was der Autor mit »Sünder« meint, wird schnell klar, wenn er berichtet, mit welchen Vorbehalten er sich konfrontiert sieht, seit er

zu diesem Thema publiziert. Ihm wurde etwa ein zu optimistischer Blick auf Medikamente unterstellt. Außerdem, so ein weiterer Vorwurf, stütze er sich in seiner Argumentation zu sehr auf individuelle Anekdoten aus seinem klinischen Alltag anstatt auf empirische Studien. Vorwürfe wie diese ließen Kramer zweifeln, ob er sich erneut zu dem Thema zu Wort melden sollte.

Mit viel Offenheit stellt sich der Psychiater diesen Zweifeln an seiner Arbeit. Er rechtfertigt sich gegenüber der an ihn gerichteten Kritik, doch vor allem erklärt er sich mit großer Genauigkeit – und steht

Rosanna Wegenstein hat Psychologie und Vergleichende Literaturwissenschaften studiert und macht aktuell ihren Master in Entwicklungspsychologie an der Universität Wien.

dabei zu dem »Sünder« in ihm. Er tut dies nicht arrogant, sondern eher mit bescheidenem Selbstbewusstsein. Für viele seiner Patientinnen und Patienten – ob sie nun an Depressionen oder anderen affektiven und psychosomatischen Beschwerden leiden – seien Antidepressiva Teil ihres Wegs zurück ins Leben gewesen. Kramer macht klar, dass er für diese Menschen spreche, wenn er der Skepsis gegenüber dieser medikamentösen Behandlung Einhalt gebietet. Er verurteilt diese Skepsis nicht pauschal, sondern erläutert vielmehr, in welchen Hinsichten er sie teilt. Dabei benennt er nicht zuletzt die Überschreitung vieler ethischer Grenzen durch die Pharmaindustrie als Problem. Gleichzeitig könne sich die Kritik an der Gabe von Antidepressiva aber in Ignoranz gegenüber Betroffenen verwandeln, wenn sie nicht immer wieder in die vorhandene Evidenz eingeordnet werde.

Empirie im historischen Kontext

»Evidenz« ist für den langjährigen Arzt keinesfalls nur ein klinischer Begriff.

Der Autor widmet sich in außergewöhnlicher Tiefe der wissenschaftlichen Empirie und geht dabei weit über ein Referat der wichtigsten empirischen Befunde zur Wirksamkeit von Antidepressiva hinaus. So erläutert er auch die jeweils zu Grunde liegenden Forschungsmethoden sowie die vorherrschenden medizinischen und statistischen Annahmen der Zeit, der die jeweiligen Ergebnisse entstammen. Dafür geht er zurück bis zu Roland Kuhns intuitivem Fund des ersten Antidepressivums »Imipramin« in den 1950er Jahren. Kramer erzählt, wie lange es bei der Erforschung von Depression auch nach Kuhns Entdeckung noch dauerte, bis man sich für einen biologischen Blickwinkel öffnete. In Kramers eigener Ausbildungszeit wurden depressive Patienten noch ausschließlich psychoanalytisch behandelt.

Der Autor geht auf Studien ein, die eine Brücke zwischen Psychoanalyse und Psychopharmakologie schlugen, und auch auf jene Untersuchungen, die

diese Brücke wieder ins Wanken brachten. Denn zumindest gemäß damaligen Interpretationen attestierten Metaanalysen und kontrolliert randomisierte Studien den Medikamenten seit Ende des 20. Jahrhunderts teilweise einen zu geringen Nutzen. Kramer würdigt die immer ausgefeilteren empirischen Herangehensweisen und zeigt gleichzeitig auf, wo gerade der Versuch, eine möglichst große Objektivität zu gewährleisten, empirische Resultate möglicherweise verzerrt hat; dort etwa, wo verwendete Bewertungsskalen nicht an neuere klinische Erfahrungen angepasst worden seien, wo Verblindung zu falschen Dosierungen geführt habe oder wo statistische Bias (wie mangelnde Additivität) zu wenig Aufmerksamkeit erhalten hätten. Kramer traut seinen Lesern angesichts der detaillierten Beschreibung von solch komplexen Phänomenen viel zu. Doch er weckt dadurch auch das Gefühl, dass man den Forscherinnen und Forschern bei ihrer Arbeit ganz nah ist.

Wissenschaft lebt von Offenheit

Letztlich spricht sich Kramer dafür aus, die Wirksamkeit von Antidepressiva insgesamt positiv zu bewerten. Doch er zeigt auch deren Grenzen auf und macht klar, warum Medikamente ein unterstützendes Umfeld nicht ersetzen können. Er plädiert außerdem dafür, offen gegenüber neuen, vielleicht noch besseren Behandlungsmöglichkeiten zu bleiben. Und der Psychiater möchte das Bewusstsein dafür schärfen, dass jede Methode auch eine Entscheidung ist. Er macht sich stark für eine Wissenschaft, die Ambivalenzen aushält und vor Ideologie gefeit ist. Denn diese sei für den Erkenntnisprozess bedrohlicher als jede Anekdote.

Das ausgeprägte Gespür Kramers für die Kraft der Interpretation mag auch mit seinem Literaturstudium zusammenhängen. Das legt der Autor selbst nahe, denn er sagt, dass dieses seine Laufbahn als Arzt präge. Er lese auch medizinische

Studien wie Bücher verschiedener Genres, die es zu deuten gelte. »Und welcher Blick eignet sich dazu besser als der klinische?«, so Kramer. Seine Deutungen überzeugen. Daher wünscht man sich in manchen Passagen des Buchs noch etwas mehr von seiner sonst üblichen Genauigkeit. So kommen die gesellschaftlichen Missstände, die Depressionen begünstigen könnten, etwas zu kurz. Auch vermisst man eine detailliertere Beschreibung der verschiedenen Methoden der Psychotherapie, deren Entwicklung der Autor nur grob umreißt. Das Kernthema seines Buchs, die Wirksamkeit von Antidepressiva, behandelt Kramer aber so differenziert, wie es dieses Thema verdient.

Spektrum der Wissenschaft KOMPAKT

DEPRESSIONEN

Diagnostik | Bin ich depressiv?
Ursachen | Wenn der Körper krank macht
Behandlung | Die passende Therapie

HIER DOWNLOADEN

FÜR NUR
€ 5,99



DIE FABELHAFTE WELT DER MATHEMATIK



Die Antwort auf das Leben, das Universum und den ganzen Rest

**Forschende träumen von einer Lösung
aller wissenschaftlichen Rätsel. Durch die
Kolmogorow-Komplexität schien sie
zum Greifen nah – doch ein Paradoxon
macht ihr den Garaus. So viel ist aber klar:
Die 42 ist es nicht.**

VON MANON BISCHOFF

Wovon haben Sie geträumt, als Sie 16 Jahre alt waren? Ich wollte damals Auto fahren, ausgehen und die Welt bereisen. Ray Solomonoff hatte in diesem Alter ehrgeizigere Ziele. Er wollte eine Methode finden, um jedes erdenkliche wissenschaftliche Problem zu lösen. Das war kein reines Wunschdenken – der Jugendliche hatte eine bahnbrechende Idee, die ein komplett neues Forschungsgebiet begründen sollte. In den kommenden Jahren entwickelte Solomonoff ein Konzept, das es ermöglicht, Daten systematisch nach Mustern zu durchsuchen – und so die verborgenen Vorgänge zu offenbaren, die unserer Welt zu Grunde liegen.

Das mag heute an die Arbeitsweise von künstlicher Intelligenz erinnern. Doch Solomonoff formulierte seine ersten Ideen im Jahr 1942 – lange bevor es KI-Algorithmen gab.

Solomonoffs Überlegungen fußen auf dem Prinzip von »Ockhams Rasiermesser«, wonach die einfachste Erklärung für ein Phänomen meist die richtige ist. Daran orientieren sich auch Physiker, wenn sie die Naturgesetze beschreiben: Sie versuchen einfache Formeln zu finden, die möglichst viele physikalische Vorgänge beschreiben sollen. Solomonoff suchte nach einer Art Regelwerk, einen Algorithmus, der verborgene Zusammenhänge in Daten offenbart. Auf diese Weise, so die Hoffnung, ließe sich einfach alles auf der Welt erklären.

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 Physikerin und Redakteurin für Mathematik, KI und Physik.

Es wäre eine regelrechte Wundermaschine

Wenn ich zum Beispiel die Flugbahn eines geworfenen Baseballs aufzeichne, können Sie daraus beliebig viele – teilweise sehr komplizierte – mathematische Formeln finden, die den Verlauf der Bahnkurve nachbilden. Um aus all diesen Möglichkeiten die richtige Gesetzmäßigkeit abzuleiten, sollten Sie die einfachste Beschreibung herausuchen. Diese wird höchstwahrscheinlich den newtonschen Bewegungsgesetzen entsprechen, die das Zusammenspiel von zwei Kräften beschreiben: einmal diejenige, mit der die Person den Ball geworfen hat, und dann die Gravitation, die den Ball zu Boden zwingt. Solomonoff suchte nach einer Vorschrift, die aus allen möglichen Beschreibungen die einfachste auswählt.

Eine solche Vorschrift ließe sich in ein Computerprogramm übersetzen. Diesem könnte man beliebige Daten übergeben und nach einer gewissen Zeit die

einfachste Erklärung für die Entstehung dieser Werte bekommen. Es wäre eine regelrechte Wundermaschine.

Was ist schon einfach?

So viel schon mal vorab: Solomonoffs Wundermaschine existiert nicht – und sie wird niemals existieren, so viel ist sicher. Dennoch hat der damals 16-Jährige mit seinen Überlegungen ein völlig neues Forschungsfeld eröffnet, das sich mit der wahren Natur von Zufall und Komplexität beschäftigt. Und wie es so häufig in den Naturwissenschaften vorkommt, hatten zwei andere Personen zeitgleich ziemlich ähnliche Ideen.

Einer dieser beiden Menschen war der sowjetische Mathematiker Andrei Kolmogorow, der sich vor allem mit Wahrscheinlichkeiten und Zufallszahlen beschäftigte. Insbesondere interessierte er sich ebenfalls dafür, wie sich entscheiden

lässt, ob die Beschreibung eines Phänomens einfach oder kompliziert ist.

Angenommen, ich zeige Ihnen die Zahl 25041903. Auf den ersten Blick wirkt sie ziemlich zufällig. Es gibt verschiedene Möglichkeiten, diesen Wert zu erklären. Ich könnte beispielsweise einen Zufallsgenerator genutzt haben und die Ziffern 2,5,0,4,1,9,0,3 in dieser Reihenfolge erhalten haben. Das erscheint nicht besonders zufrieden stellend – auf diese Weise können Sie keine Gesetzmäßigkeit ableiten, um sich den Wert genauer zu merken. Ich könnte aber auch sagen, dass diese Zahl dem Produkt der drei Primzahlen $3 \cdot 61 \cdot 136\,841$ entspricht. Oder ich könnte Ihnen mitteilen, dass die Zahlenfolge in der 40 122 575-ten Nachkommastelle von Pi auftaucht. Oder dass ich diese Zahl gewählt habe, weil Andrei Kolmogorow am 25. April 1903 geboren wurde. Welche dieser Erklärungen klingt für Sie am einfachsten?

Die kleinste Zahl, die sich nicht durch 20 Wörter beschreiben lässt

Wahrscheinlich haben verschiedene Personen unterschiedliche Meinungen dazu.

Kolmogorow gelang es, eine objektive Methode zu entwickeln, um die Komplexität von Objekten zu bestimmen: Die Kolmogorow-Komplexität einer Zahl entspricht der Länge des kürzesten Computerprogramms, das die Zahl berechnet. Je kürzer das Programm ist, mit dem man einen Wert wie 25041903 erzeugen kann, desto simpler ist die Zahl.

Damit hängt die Kolmogorow-Komplexität natürlich von der Programmiersprache ab, die man benutzt: Ein bestimmter Zusammenhang könnte in Python kürzer ausfallen als in C++ und umgekehrt. Jedes Computerprogramm lässt sich in Maschinencode ausdrücken, das wiederum aus einer Folge von Nullen und Einsen besteht. Die Länge der kürzesten Null-Eins-Zeichenfolge, für welche ein Computer das gewünschte Ergeb-

nis ausrechnet, entspricht der Kolmogorow-Komplexität.

Möchte man beispielsweise die Kolmogorow-Komplexität von 25041903 bestimmen, kann man die verschiedenen Erklärungen durchgehen (Aufzählen der Ziffern, Primfaktorzerlegung, Position in Pi oder Geburtstag von Kolmogorow), sie in ein Computerprogramm übersetzen und die jeweils benötigten Zeichen im dazugehörigen Maschinencode zählen. Aber vielleicht habe ich eine einfachere Erklärung für 25041903 übersehen, die sich kürzer formulieren lässt.

Um garantiert das kürzeste Programm zu identifizieren, entwickelte Kolmogorow einen systematischen Weg. Dafür übergibt man einem Rechner eine Zahl, etwa 25041903. Dann geht der Computer nach und nach alle möglichen Algorithmen, die es gibt, durch – angefangen

mit dem kleinsten, der durch eine 0 oder 1 codiert wird. Das macht der Rechner so lange, bis die ausformulierten Programme das gewünschte Ergebnis produzieren. Das erste Programm, das beispielsweise den Wert 25041903 liefert, ist dann das kürzeste. Dessen Zeichenlänge entspricht der Kolmogorow-Komplexität von 25041903.

Das Berry-Paradoxon zerstört den Traum

Damit scheint der Traum von Solomonoff erreicht. Mit der Kolmogorow-Komplexität lässt sich jedes Muster in beliebigen Daten offenbaren. Ein vollständiges Verständnis unserer Welt schien zum Greifen nah.

Doch ein Paradoxon macht dem Ganzen einen Strich durch die Rechnung. Der Bibliothekar G. G. Berry stieß bereits im 19. Jahrhundert auf das nach ihm be-

nannte Paradoxon – also lange bevor Solomonoff und Kolmogorow ihre Ideen veröffentlichten.

Berrys Gedankenexperiment ist folgendes: Angenommen, man hat ein Wörterbuch mit bloß 20 Wörtern und versucht, verschiedene Zahlen durch diese Worte zu beschreiben – ganz ähnlich wie Kolmogorow es sich mit Computerprogrammen überlegt hatte. Man kann also anfangen, nach und nach Zahlen durch diese 20 Wörter zu definieren. Da es nur endlich viele Möglichkeiten gibt, die 20 Wörter miteinander zu kombinieren, kann man nur endlich viele Zahlen beschreiben. Da es aber unendlich viele Zahlen gibt, entgehen einige von ihnen einer solchen Definition. Doch was, wenn man mit den 20 Wörtern folgenden Satz formuliert: »Die kleinste Zahl, die sich nicht durch 20 Wörter beschreiben lässt.«

Da diese Beschreibung bloß elf Worte umfasst, erzeugt die Aussage offensichtlich einen Widerspruch. Was ist schiefgelaufen?

Manche Wahrheiten lassen sich nicht beweisen

Wie sich herausstellt, besteht das Problem darin, dass man nicht berechnen kann, wie viele Wörter nötig sind, um eine Zahl zu definieren. Das erscheint zunächst wie eine billige Ausrede, aber tatsächlich hängen das Berry-Paradoxon und die Kolmogorow-Komplexität mit einem der unintuitivsten Merkmale der Mathematik zusammen: Manche Wahrheiten lassen sich nicht beweisen. Oder anders ausgedrückt: Die Mathematik ist unvollständig.

Das lässt sich in diesem Fall auch beweisen. Angenommen, es gäbe tatsächlich ein Computerprogramm K, das zu jeder Eingabe die zugehörige Kolmogorow-Komplexität berechnet. Dieses Programm bestehe aus einer Million Zeichen – es muss nicht schnell oder effizient sein, sondern einfach nur funktionieren. Nun testen Sie das Programm und füttern es mit allen möglichen Eingaben, bis Sie schließlich eine große Zahl x finden, deren Komplexität zwei Millionen

beträgt. Dann gehen Sie ähnlich vor wie beim Berry-Paradoxon. Sie schreiben ein neues Computerprogramm P, das folgende Aufgabe erledigt: Es geht systematisch alle Zeichenfolgen durch und berechnet mit dem Programm K die Kolmogorow-Komplexität der Zeichenfolgen, bis es eine mit einer Komplexität von zwei Millionen findet. Das neue Programm P hängt unmittelbar von K ab und wird daher nicht viel mehr Zeichen enthalten als K (es besteht auf jeden Fall aus weniger als zwei Millionen Zeichen). Damit hat man aber ein Computerprogramm mit weniger als zwei Millionen Zeichen gefunden, das eine Zahl mit einer Komplexität von zwei Millionen berechnet – ein Widerspruch.

Wenn eine logische Argumentation einen Widerspruch erzeugt, muss mindestens eine der Annahmen falsch sein. In diesem Fall haben wir angenommen, dass es ein Programm K gibt, das zu jeder Eingabe die Kolmogorow-Komplexität berechnet. Daher gibt es nur einen mög-

Besonders komplex ist die Zahl 42 nicht

lichen Schluss: Ein solches K kann nicht existieren. Es ist unmöglich, zu jeder erdenklichen Eingabe das kürzeste Programm zu finden, das diese Eingabe erzeugt.

Doch noch ein Happy End

Damit ist Solomonoffs Traum geplatzt. Aber auch wenn man nicht zu jeder beliebigen Eingabe die Kolmogorow-Komplexität berechnen kann, erweist sich die Idee für viele Anwendungen als nützlich.

Denn für die meisten Spezialfälle ist keine exakte Kolmogorow-Komplexität nötig – es genügt, eine Näherung anzugeben. Dafür greifen Fachleute in der Regel auf Kompressionsprogramme zurück. »Indem man gzip nutzt oder ein Bild als .gif-Datei speichert, erhält man eine grobe Annäherung an die Kolmogorow-Komplexität«, erklärt der Informatiker Scott

Aaronson von der University of Texas in Austin in »Plus Magazine«.

Möchte man zum Beispiel herausfinden, ob zwei Zahlenfolgen x und y (diese können zum Beispiel Messdaten entsprechen) zusammenhängen, kann man zuerst jeweils x und y einzeln komprimieren und dann beide Folgen aneinanderhängen und xy komprimieren. Wenn die Kompression von xy kaum größer ist als die Einzelkompressionen von x oder y , dann muss es zwischen den Zahlenfolgen Korrelationen geben – und schon hat man Hinweise auf versteckte Muster.

Die Kolmogorow-Komplexität lässt sich auch verwenden, um zu bestimmen, wie zufällig eine bestimmte Zahlenfolge ist. Zum Beispiel könnten die drei achstelligen Zahlen 25041903, 47395929 und 10101010 durch einen Zufallsgenerator entstanden sein – auch wenn nicht jede gleich zufällig erscheint. Dabei ist die

Wahrscheinlichkeit, jede dieser drei Zahlen zufällig zu erzeugen, gleich groß: Im Zahlenraum von 00000000 bis 99999999 trifft man mit einer Wahrscheinlichkeit von je 1 zu 10^8 auf einen dieser Werte. Aber 10101010 weist ein eindeutiges Muster auf, ebenso wie 25041903, das einem Geburtsdatum entspricht. Indem man die Kolmogorow-Komplexität der Zahlen berechnet, lässt sich beurteilen, ob sie einem bestimmten Muster folgen – und ob ein Zufallsgenerator zuverlässig arbeitet.

Die Kolmogorow-Komplexität beantwortet also leider nicht die Fragen nach dem Leben, dem Universum und dem ganzen Rest. Wenn wir dem Sciencefiction-Autor Douglas Adams glauben, dann lautet die Antwort darauf 42. Das erscheint allerdings fragwürdig, besonders komplex ist die Zahl 42 nämlich nicht; das lässt sich mit der Kolmogorow-Komplexität berechnen.



Wissenschaft, wie Sie sie brauchen

Sie lesen gerade **Spektrum – Die Woche**. Damit nutzen Sie bereits einen der vielen Vorteile von **Spektrum+**. Wussten Sie schon, was ein **Spektrum+ Abo** alles bietet?

Voller Zugriff auf Spektrum.de

Lesen Sie alle Artikel auf unserer Website jederzeit und unbegrenzt – täglich neu, fundiert recherchiert, wissenschaftlich aktuell.

Exklusive Leseraktionen & Verlosungen

Als Abonnentin oder Abonnent erwarten Sie regelmäßig besondere Aktionen und Angebote.

App inklusive

Nutzen Sie die **Spektrum+ App**, um Artikel offline zu lesen und Ihre Lieblingsinhalte zu speichern. Immer und überall.

Spektrum – DIE WOCHE automatisch erhalten

Die besten Artikel der Woche für Sie zusammengefasst – direkt als PDF oder in der App.

Noch kein Abo?

Dann sichern Sie sich jetzt alle Vorteile von **Spektrum+** – und Sie erhalten **Spektrum – Die Woche** jede Woche automatisch.

Jetzt Spektrum+ testen!