

RUBIN

WISSENSCHAFTSMAGAZIN



ALLES NUR GEKLAUT?

Stibitzt: Nährstoffklau unter Bakterien

Abgesaugt: Sterne mopsen Materie

Umgedeutet: Narrative und Macht

RUHR-UNIVERSITÄT BOCHUM

RUB

WISSENSCHAFT ZUM NULLTARIF

*Abonnieren Sie kostenlos das Forschungsmagazin »Rubin«
als digitalen Newsletter oder Printmagazin.*

**RUBIN
ABONNIEREN**
→ news.rub.de/rubin



Foto:tk

AUS DER REDAKTION

Liebe Leserin, lieber Leser,

was geht Ihnen als erstes durch den Sinn, wenn Sie den Titel dieser Rubin-Ausgabe lesen? Gehören Sie auch zu der Generation, deren Kopf unweigerlich anfängt zu singen „Das ist alles nur geklaut, eh-oh, eh-oh ...“? Vermutlich schwirrt dieses Lied, das die Band „Die Prinzen“ 1993 veröffentlichte, vielen noch im Gehirn herum. Aber in dieser Ausgabe geht es weder um den Song, noch um die Band. Wir möchten Ihnen Einblicke in ausgefuchste technische und biomedizinische Ideen geben, die von der Natur inspiriert sind, von Sternen erzählen, die anderen Materie klauen, oder berichten, wie unser Gehirn Elemente aus verschiedenen Quellen in unsere Erinnerungen übernimmt. Sollten Sie am Ende trotzdem einen Prinzen-Ohrwurm haben, tut es uns leid. Vielleicht tröstet es Sie, dass es uns in der Rubin-Redaktion genauso geht.

Wir wünschen Ihnen viel Spaß beim Lesen!

*Julia Weiler
für das Redaktionsteam*

RUBIN IM NETZ

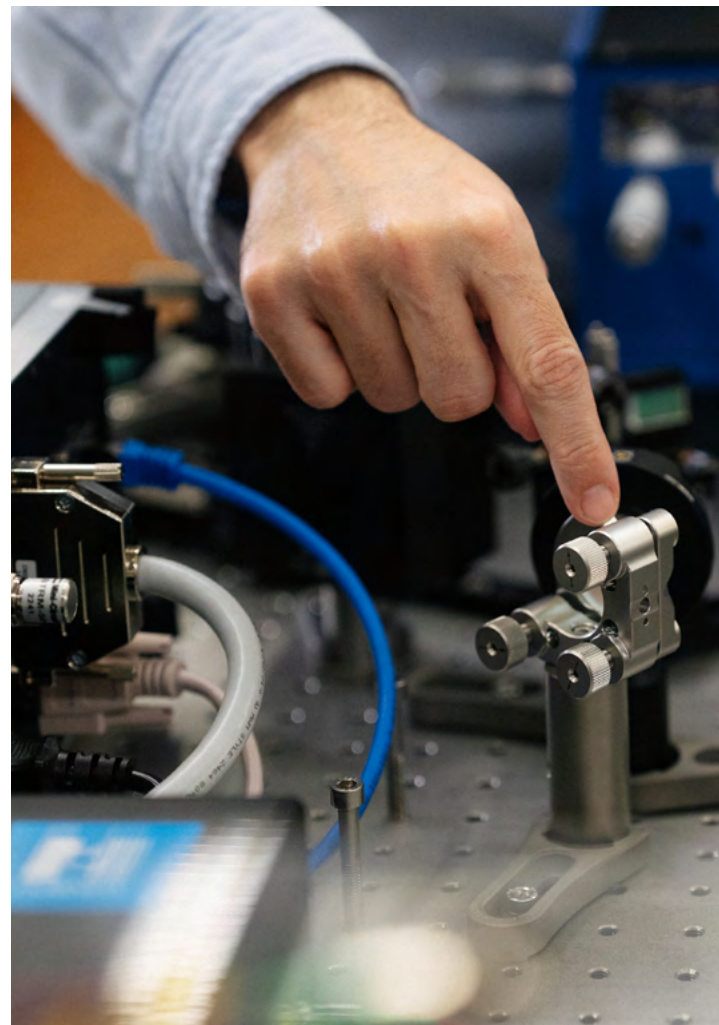
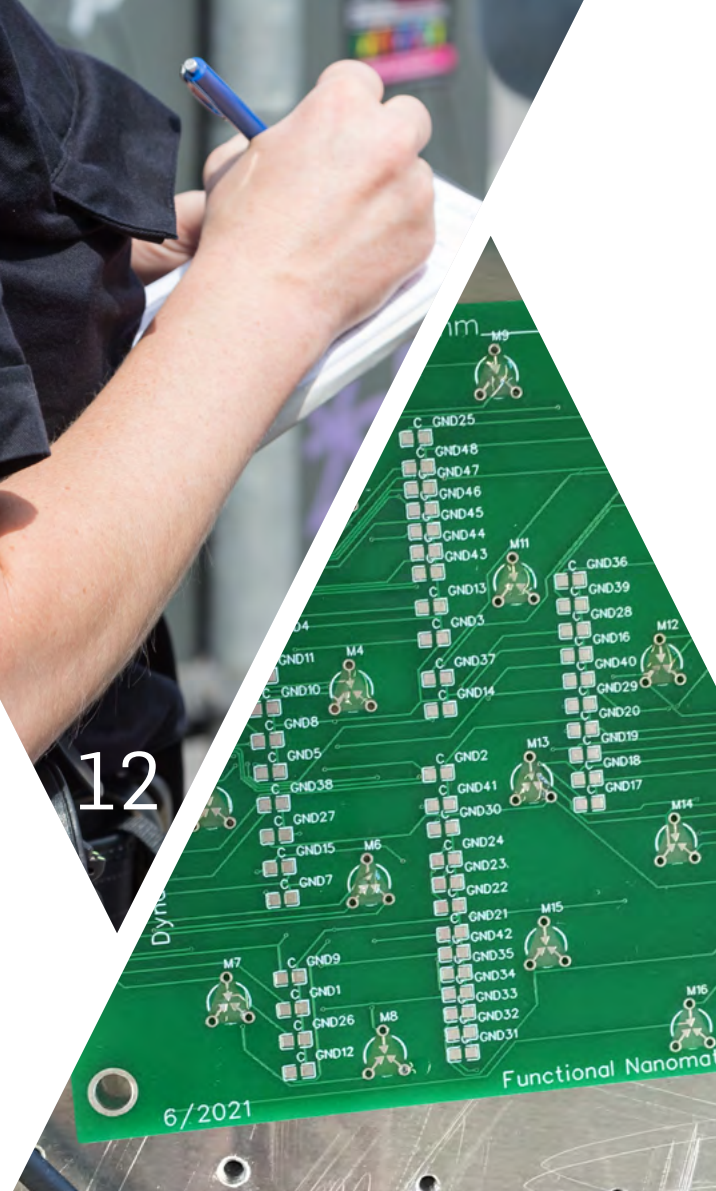
Alle Rubin-Artikel im Newsportal der RUB:

→ news.rub.de/rubin

INHALT

- 03 Aus der Redaktion
- 06 Forschung in Bildern
- 10 Wisseshäppchen
- 12 *Philosophie & Neurowissenschaft*
Erlebt oder nur erinnert?
- 18 *Jura · Im Gespräch*
Was sind uns medizinische Fortschritte wert?
- 22 *Biotechnologie*
Elektronenklaue für einen guten Zweck
- 26 *Sportwissenschaft & Maschinenbau*
Endlich wieder besser gehen können
- 30 *Kunstgeschichte*
„Die Vorstellung vom düsteren Mittelalter ist mir ein Rätsel“
- 34 *Elektrotechnik · Im Gespräch*
Wachsende Schaltkreise für neue Computer
- 38 *Wissenschaftsdidaktik · Standpunkt*
Plagiate und KI: Ja, nein, vielleicht
- 40 *Geschichtswissenschaft*
Die Macht der Geschichten
- 44 *Wirtschaftswissenschaft*
Geschätzte Zwillinge

12



40

”

POLEN WIRD
ALS CHRISTUS
DER VÖLKER
DARGESTELLT.

“

Heidi Hein-Kircher



56

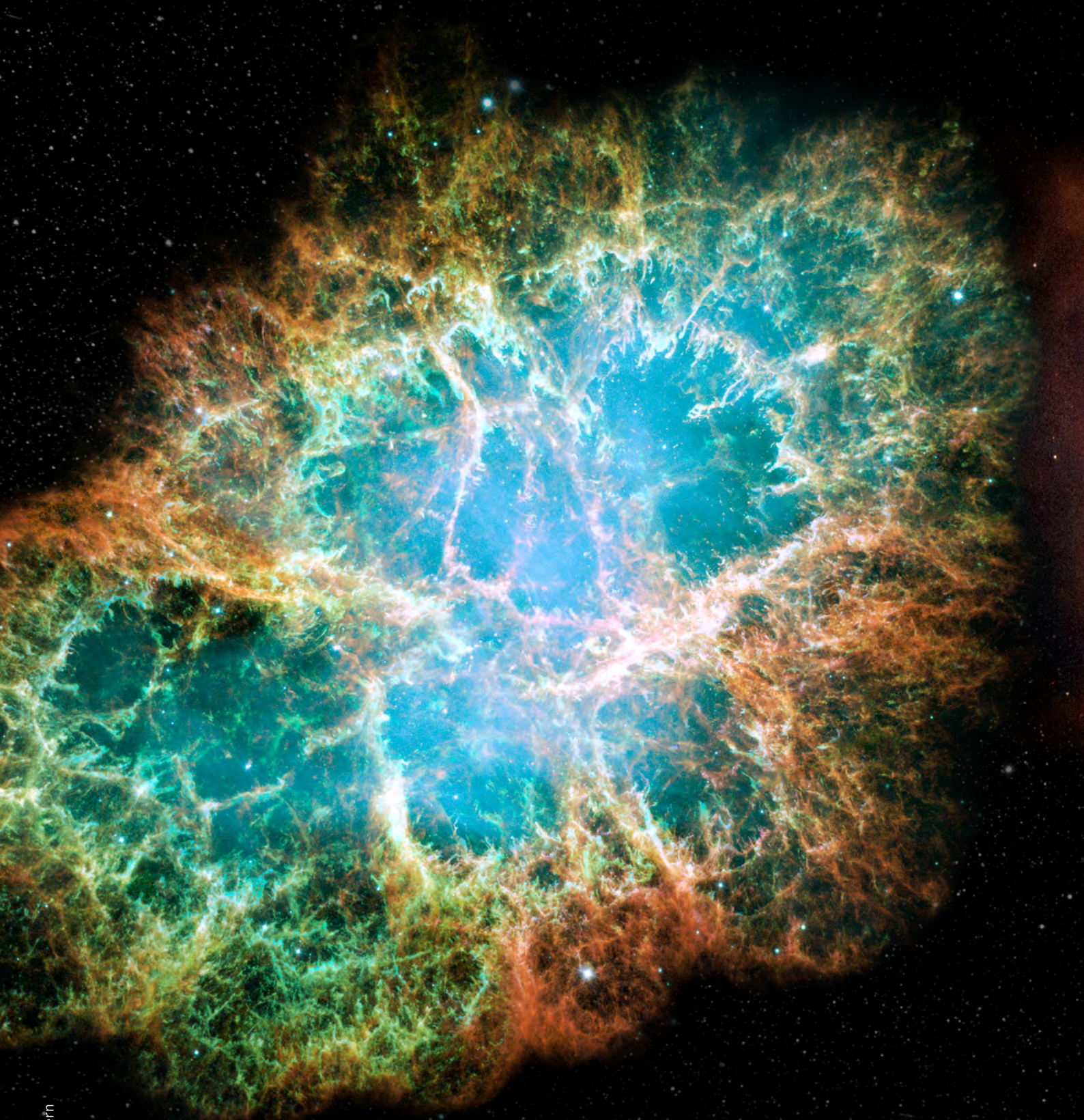


34



62

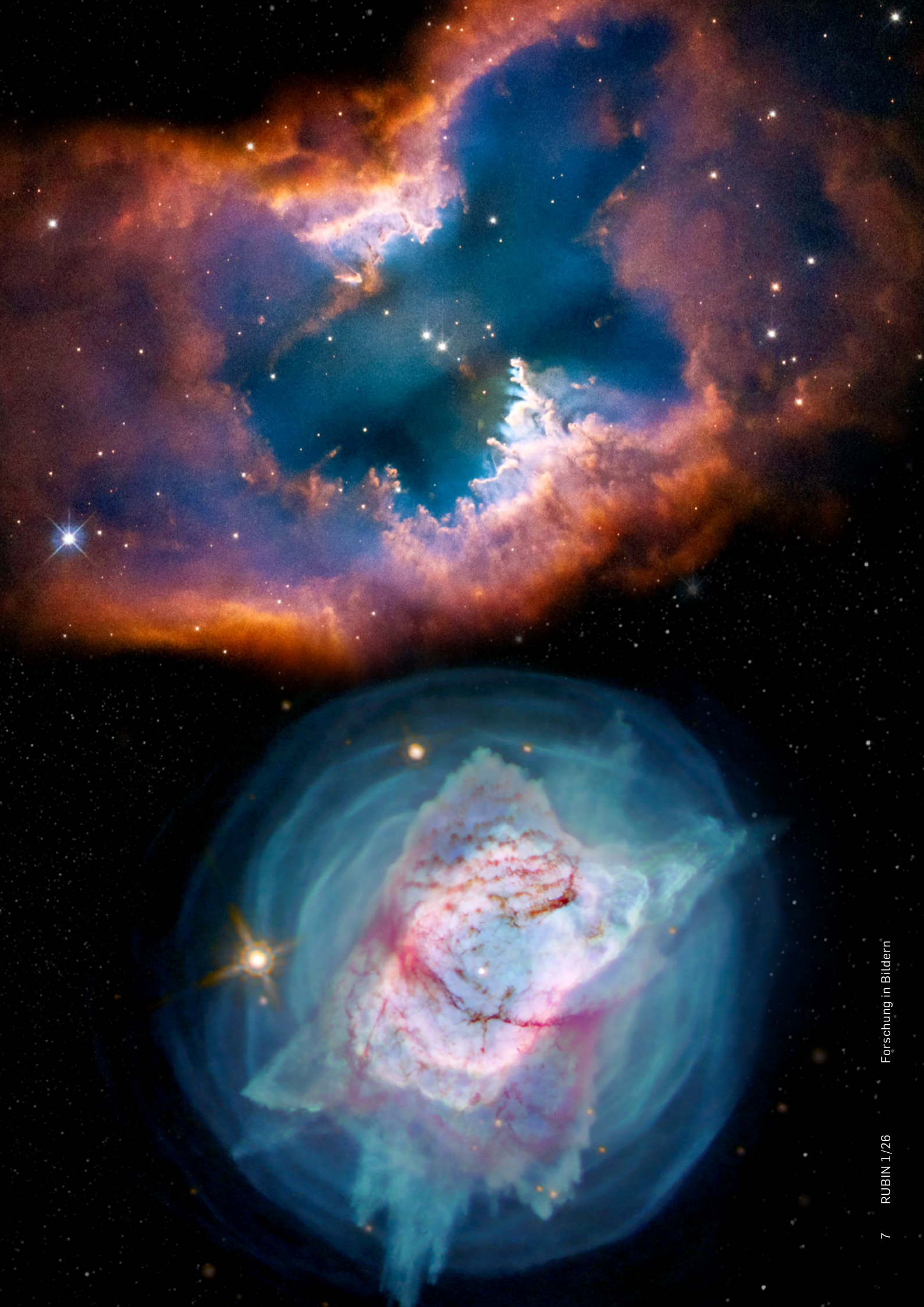
- 48 *Astronomie*
Die Nebel der Sterne lüften
- 52 *Sozialwissenschaft · Im Gespräch*
Auf gute Zusammenarbeit mit Kollegin KI
- 56 *Mikrobiologie*
Piraterie unter Mikroben
- 60 *Völkerrecht · Standpunkt*
Vom Staatenklau zur Selbstbestimmung
- 62 *Elektrotechnik*
Wenn Laserlicht nach Regeln tanzt
- 66 **Redaktionsschluss · Impressum**

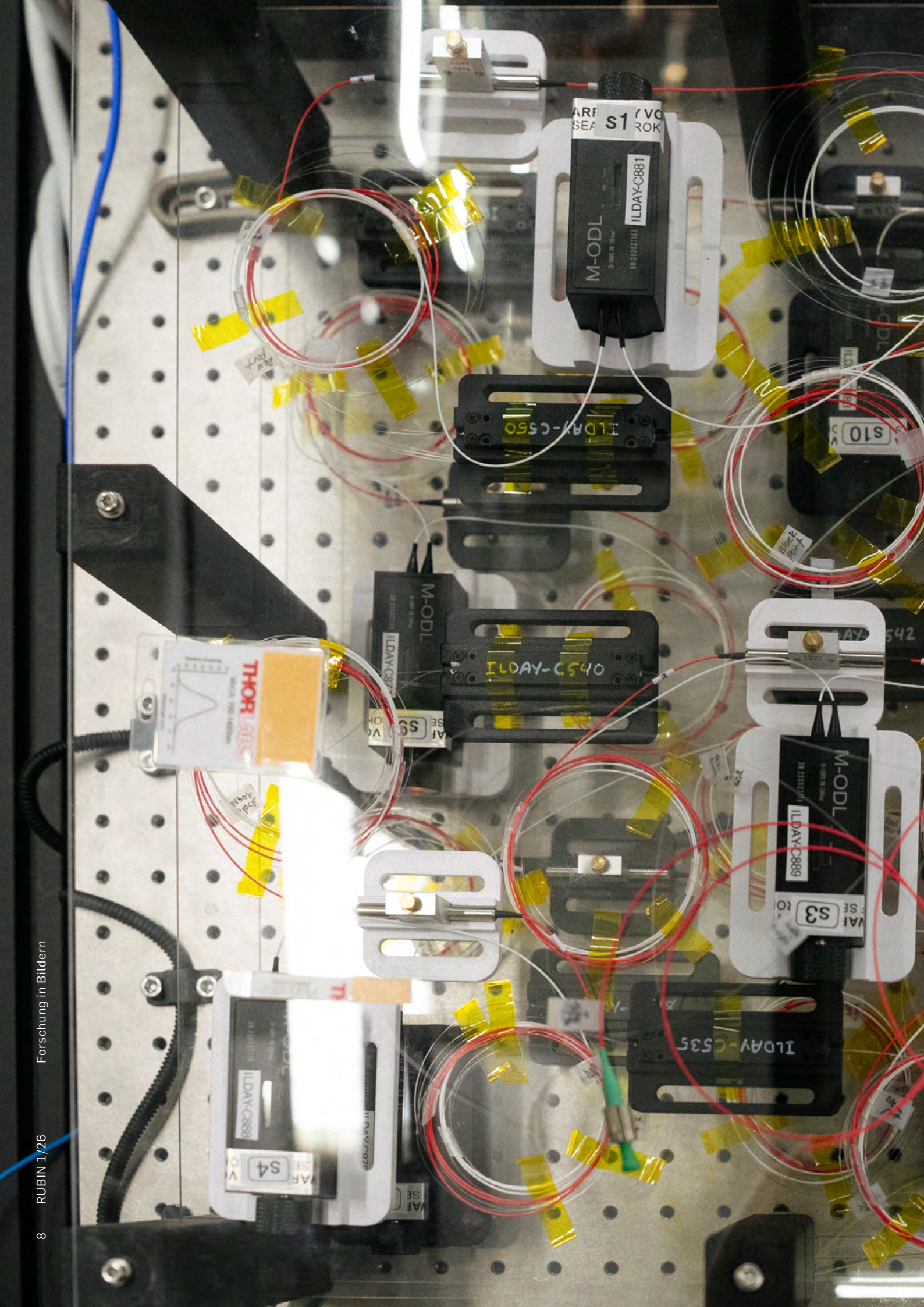


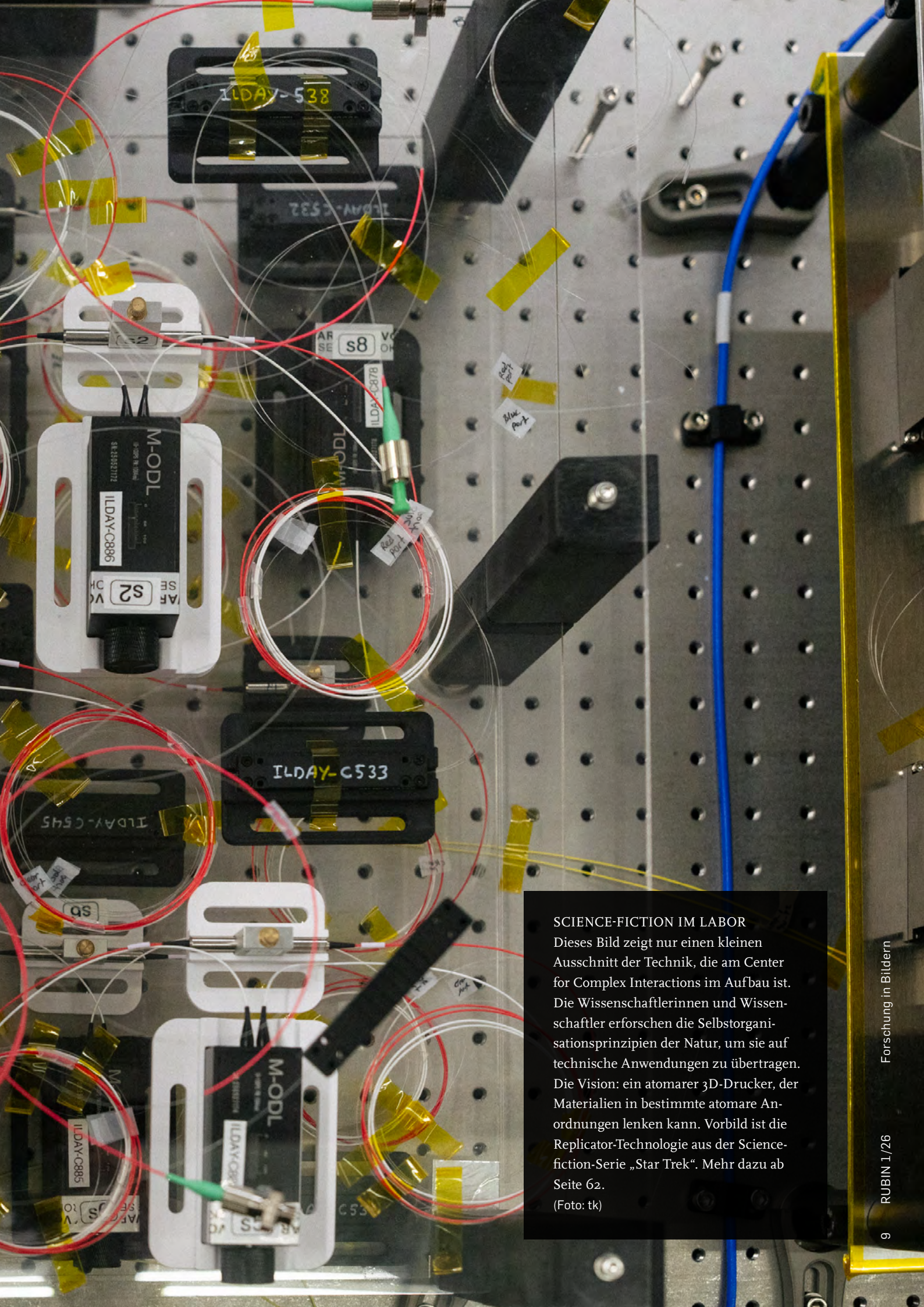
VERNEBELTE FORSCHUNG

In der Forschung von Kerstin Weis und Dominik Bomans dreht sich alles um sogenannte planetarische Nebel, die – anders als der Name vermuten lässt – gar nichts mit Planeten zu tun haben. Die Forscherin und der Forscher untersuchen die Strukturen von Nebeln im Weltall und rekonstruieren die Prozesse, die zu ihrer Entstehung geführt haben. Ein ausführlicher Bericht dazu findet sich ab Seite 48. Und wer mehr über den Namensreichtum der planetarischen Nebel erfahren möchte, kann mit einem kleinen Quiz auf Seite 66 seine assoziativen Fähigkeiten testen.

(Linkes Bild: NASA, ESA and Allison Loll/Jeff Hester (Arizona State University); Acknowledgement: Davide De Martin (ESA/Hubble). Rechts oben: NASA, ESA, STScI; Image Processing: Joseph DePasquale (STScI). Rechts unten: NASA, ESA, and J. Kastner (RIT). Sternenhimmel im Hintergrund: Adobe Stock)







SCIENCE-FICTION IM LABOR

Dieses Bild zeigt nur einen kleinen Ausschnitt der Technik, die am Center for Complex Interactions im Aufbau ist. Die Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler erforschen die Selbstorganisationsprinzipien der Natur, um sie auf technische Anwendungen zu übertragen. Die Vision: ein atomarer 3D-Drucker, der Materialien in bestimmte atomare Anordnungen lenken kann. Vorbild ist die Replicator-Technologie aus der Science-fiction-Serie „Star Trek“. Mehr dazu ab Seite 62.

(Foto: tk)

GILT DATENKLAU ALS DIEBSTAHL?

Milliarden Daten werden geklaut und trotzdem ist es kein Diebstahl.

Jurist Ken Eckstein erklärt, warum es einen

Unterschied macht, ob mir ein Buch oder meine Zugangsdaten entwendet werden.



„Größtes Datenleck aller Zeiten: 16 Milliarden Zugangsdaten im Netz entdeckt“. Unter dieser Schlagzeile berichtet CHIP online am 23. Juni 2025, dass Cyberkriminellen die Benutzernamen und Passwörter für zahllose Accounts bei Sozialen

Netzwerken, Cloud-Diensten und Portalen aller Art in die Hände gefallen seien. Empfehlung für die Nutzerinnen und Nutzer: neue Passwörter setzen, Zwei-Faktor-Authentifizierung einrichten und sensible Accounts wie den Onlinebanking-Account auf Unregelmäßigkeiten prüfen.

Die Zugangsdaten wurden vermutlich mit einer Schadsoftware erbeutet, die bildhaft als InfoStealer-Malware bezeichnet wird, wobei InfoStealer übersetzt Informationsdieb bedeutet. „Strafrechtlich geht es beim Abschöpfen von Daten, anders als die Bezeichnung Informationsdieb suggeriert, allerdings nicht um Diebstahl im Sinne des Strafgesetzbuchs“, sagt Ken Eckstein, Professor für Strafrecht und Strafprozessrecht an der Ruhr-Universität Bochum.

Denn Diebstahl ist ein sogenanntes Eigentumsdelikt. Es bezieht sich auf den Eigentumsbegriff des Bürgerlichen Rechts. Der Diebstahlstatbestand schützt das Eigentum an körperlichen Gegenständen wie beispielsweise Büchern, Kleidung oder Fahrrädern. Dazu zählen auch IT-Geräte wie Mobiltelefone und Notebooks. „Datenträger sind also eigentumsfähig und können gestohlen werden. Die auf einem Datenträger gespeicherten Daten jedoch sind für sich genommen körperlos, also keine körperlichen Gegenstände und folglich nicht eigentumsfähig. Deshalb können sie nicht gestohlen werden“, so Ken Eckstein.

Das mag spitzfindig erscheinen. Dahinter steht aber folgende Überlegung: Eine InfoStealer-Malware erbeutet zwar Zugangsdaten. Sie tut das aber, ohne dass der Berechtigte diese Zugangsdaten verliert. Vielmehr werden die Daten kopiert, also vervielfältigt. Das unterscheidet Daten von körperlichen Gegenständen: Ein Buch, das gestohlen wird, erlangt der Dieb auf Kosten des Eigentümers. Denn der Eigentümer büßt die

Möglichkeit ein, sein Buch zu benutzen. Die vom InfoStealer erbeuteten Zugangsdaten dagegen werden grundsätzlich durch Herstellung eines Duplikats erbeutet und stehen auch dem Berechtigten weiterhin zur Verfügung.

Ein Datendiebstahl bleibt dennoch nicht strafflos. „Das Strafgesetzbuch kennt Straftatbestände zum Schutz von Daten vor rechtswidriger Veränderung, zum Schutz von Vermögenswerten aller Art und zum Schutz von Geheimnissen. So wird nach Paragraph 202c und Paragraph 263a Absatz 3 Strafgesetzbuch unter näher umschriebenen weiteren Voraussetzungen bestraft, wer sich oder einem anderen Passwörter oder sonstige Sicherungscodes verschafft und dadurch bestimmte andere Straftaten vorbereitet, was wir als Phishing kennen“, so Ken Eckstein.

Der Albtraum jedes Onlinebanking-Kunden: Der Onlinebanking-Account wird kompromittiert und Geld verschwindet. „Dann kommt strafrechtlicher Vermögensschutz durch den Tatbestand des Computerbetrugs nach Paragraph 263a Strafgesetzbuch in Betracht“, erklärt Ken Eckstein. Außerdem bleiben Bankkunden nicht unbedingt auf dem erlittenen Schaden sitzen. Vielmehr sehen Gesetze eine weitgehende Haftung der Bank vor, es sei denn, der Kunde hat seine Sorgfaltspflichten grob fahrlässig oder sogar vorsätzlich verletzt. Diese kundenfreundliche Regelung beruht auf der Zahlungsdienste-Richtlinie der Europäischen Union.

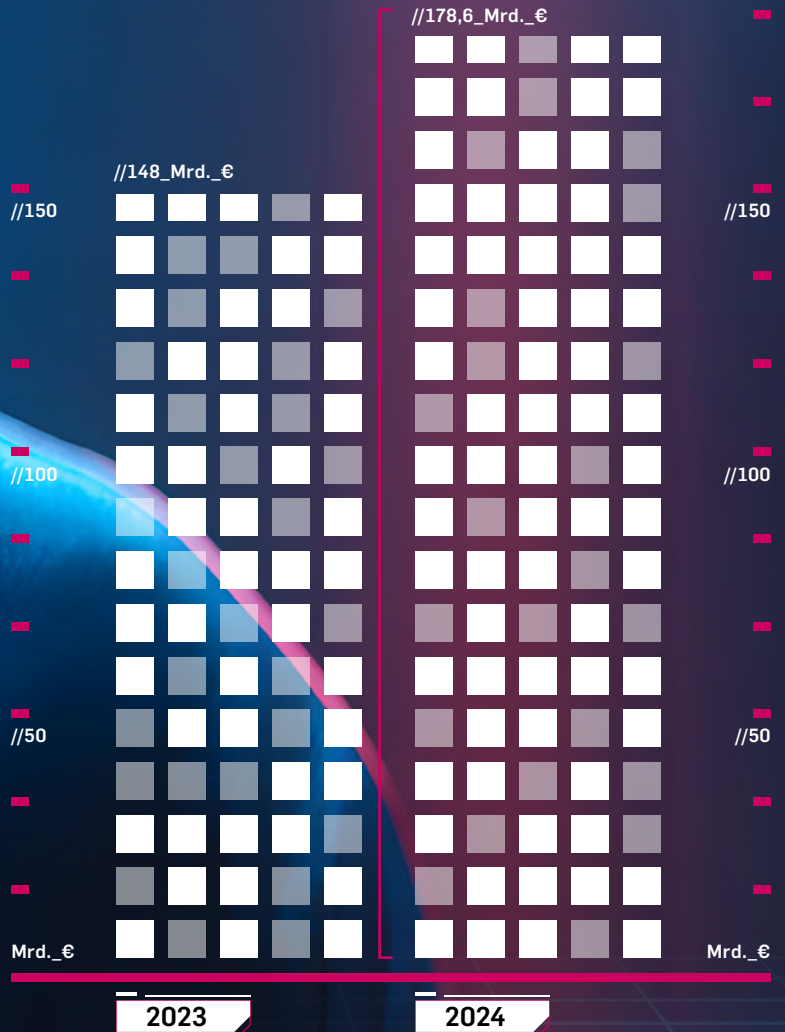
Spezielle Straftatbestände, die moderne Phänomene der Computerkriminalität erfassen, hat der Gesetzgeber erstmals 1986 ins Strafgesetzbuch eingefügt. Die Anpassung des Gesetzes an neue Phänomene ist eine rechtspolitische Daueraufgabe. Aktuell wird diskutiert, ob der Schutz für Kryptowerte wie Bitcoin Lücken aufweist. Die Blockchain-Technik soll Datensätze eindeutig und ausschließlich zuordnen. „Das sind charakteristische Eigenschaften auch des zivilrechtlichen Eigentums, und das wiederum führt zu Forderungen nach einem Daten-Diebstahlstatbestand“, so Ken Eckstein.

131.391_// Cybercrime-Fälle

in Deutschland 2024

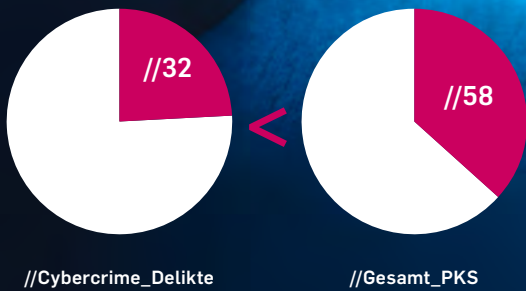
Cybercrime

gesamtwirtschaftliche Schäden



Aufklärungsquote

Kriminalität im Inland



//Quelle
 Polizeiliche Kriminalstatistik (PKS)
 Foto: Adobe Stock

Interdisziplinäre Gedächtnisforschung

ERLEBT ODER NUR ERINNERT?

Wie, wann und wo erinnern wir uns an wirklich Erlebtes – das wollen Bochumer Philosophen und Neurowissenschaftler im Schulterschluss ergründen.



Die Forschung zeigt immer wieder, dass unsere Erinnerungen nicht ganz so belastbar sind, wie wir glauben.
(Foto: Adobe Stock, Gabriele Rohde)

Erinnern Sie sich noch an Ihren achtzehnten Geburtstag? Was gab es zu essen? Zu welchem Song haben Sie getanzt? Wer war eingeladen? Und: Sind Sie sich da ganz sicher? Forschungserkenntnisse belegen immer wieder, dass unsere Erinnerungen nicht ganz so verlässlich sind, wie wir häufig denken. Vielleicht basieren auch Ihre Erinnerungen an den Achtzehnten auf Erzählungen oder Fotos. Und womöglich gab es genau in dem Jahr mal ausnahmsweise nicht Ihren geliebten Apfelkuchen.

Wie schaffen wir es, uns an vergangene Erfahrungen zu erinnern? Und wie verlässlich ist unser Gedächtnis? Diese Fragen beschäftigen die Menschheit seit der Antike. Und sie sind auch aktiver Forschungsgegenstand an der Ruhr-Universität Bochum. Seit 2010 arbeiten der Neuroinformatiker Prof. Dr. Sen Cheng und der Philosoph Prof. Dr. Markus Werning fächerübergreifend zusammen, um den Mechanismen unseres Gedächtnisses auf die Schliche zu kommen.

„Seit der Antike herrscht die Vorstellung vor, dass unser Gedächtnis wie ein Informationsspeicher funktioniert, der im Moment des Erlebens eine Erfahrung abspeichert, die

man später jederzeit hervorholen kann“, erklärt Sen Cheng. Die Metapher des Speichers habe sich im Lauf der Zeit mit den technischen Standards verändert: „Die antiken Denker stellten sich unser Gedächtnis noch wie ein Wachstableau vor, in das mit einer Nadel Informationen, sprich Erinnerungen, imprägniert wurden“, erzählt Cheng. Heute würden viele annehmen, dass das Gehirn wie eine Festplatte funktioniert. „Dieses Speichermodell, also die Idee, dass unser Gehirn wie ein Computer Dateien speichert, stimmt aus kognitionspsychologischer Sicht jedoch nicht“, weiß Cheng. Unser Gehirn, die beiden Forscher sprechen gezielt vom episodischen Gedächtnis, sei weder präzise noch verlässlich. „Obwohl wir das meinen und viele häufig sogar darauf schwören würden“, so Sen Cheng.

Erinnerung und Vorstellung

Dass das Speichermodell nicht funktioniert, hat die Forschung schon vielfach bewiesen. Etwa im Falle sogenannter flash bulb memories. Das sind Erinnerungen, die man formt, wenn man etwas besonders Emotionales erlebt. Typische Beispiele sind der Anschlag auf das World Trade Center oder das Challenger-Unglück. „Die Annahme war damals, dass sich solche Geschehnisse wie ein Blitz in unser Gedächtnis einbrennen. Man hat aber vielfach in Studien zeigen können, dass dem nicht so ist“, weiß Cheng. Dazu hat man zum Beispiel Menschen direkt nach dem 11. September und ein Jahr später befragt. Das Ergebnis: Die Befragten erinnerten sich ein Jahr später schon ganz anders an den Tag.

Was dichten wir bewusst oder unbewusst hinzu? Wo beginnt die Erinnerung, und wo unsere Vorstellung? Diese Frage beschäftigt auch Philosophen wie Markus Werning. In der Philosophie ist die Gedächtnisforschung eine vergleichsweise junge Forschungstradition. Begründet wurde sie von Charles Martin und Max Deutscher, die 1966 ein Gedankenexperiment entwickelten, um den Unterschied zwischen Gedächtnis und Imagination herauszustellen. Es wurde als „Painter Case“ vielfach zitiert. Worum geht es? „Stellen Sie sich einen Maler vor, der den Auftrag bekommt, einen Garten zu malen“, beginnt Werning. Der Maler denkt, dass er einen Fantasiegarten malt. Dann stellt sich jedoch heraus, dass der Garten eine große Ähnlichkeit mit einem Garten aufweist, den er als Kind gesehen hat. „Dieses Phänomen findet sich zuhauf in der Kunstgeschichte“, weiß Werning.

Aktuell würden Kunsthistoriker diskutieren, ob Vincent van Gogh sich im Jahre 1889 beim Malen des berühmten Bildes „Sternennacht“ bewusst oder unbewusst von Katsushika Hokusais ikonischem Farbholzschnitt „Die große Welle von Kanagawa“ (1830–1836) inspirieren ließ. Beide Werke teilen die auffällige Form des Wirbels und die Farbgebung in Blautönen. „Man weiß, dass japanische Künstler um 1800 für den Blockholzdruck den Farbstoff Preußisch Blau aus Europa importierten“, so Werning. Van Gogh galt später als Bewunderer der japanischen Kunst und war mit den Werken Hokusais vertraut. Kannte er auch konkret dieses Bild? Hat er die Idee bewusst geklaut? Oder hat sich die Erinnerung an das Bild unbewusst in sein Gedächtnis geschlichen?

i LANGJÄHRIGE KOOPERATION

Anfang 2010 bauten Cheng und Werning an der Ruhr-Universität Bochum eine von der Mercator-Stiftung geförderte Forschungsgruppe auf, die die „Strukturen des Gedächtnisses“ in den Blick nahm; seit 2019 arbeiten sie in der von der DFG geförderten Forschungsgruppe FOR 2812 „Szenarien der Vergangenheit: Ein neuer theoretischer Rahmen für das generative episodische Gedächtnis“ zusammen; noch in diesem Jahr wollen sie sich um einen gemeinsamen Sonderforschungsbereich bewerben. In ihrer Forschung verbinden sie Ansätze aus der Philosophie, der Psychologie, der experimentellen und computergestützten Neurowissenschaft.

i EPISODISCHES GEDÄCHTNIS

In der psychologischen und neurowissenschaftlichen Forschung unterscheidet man zwischen verschiedenen Arten der Erinnerung. Was wir landläufig als Erinnerung bezeichnen, ist das, was die Forscher episodische Erinnerung oder episodisches Gedächtnis nennen. Das episodische Gedächtnis, oft auch als autobiographisches Gedächtnis bezeichnet, beschreibt unsere bewussten Erinnerungen an persönliche Erlebnisse, die in einem bestimmten zeitlichen und räumlichen Kontext verankert sind – etwa den eigenen achtzehnten Geburtstag. Es umfasst zudem Erinnerungen an prägende Ereignisse des öffentlichen Lebens, wie den Anschlag auf das World Trade Center.



Seit 2010 arbeiten der Neuroinformatiker Prof. Dr. Sen Cheng (rechts) und der Philosoph Prof. Dr. Markus Werning (links) zusammen, um den Mechanismen unseres Gedächtnisses auf die Schliche zu kommen. (Foto: Magnus Terhorst)

„Wir können natürlich nicht wissen, ob das eine bewusste oder und unbewusste Aneignung war. Es ist wichtig herauszustellen, dass die Möglichkeit besteht, dass er nicht bewusst geklaut hat. Da gibt uns die Gedächtnisforschung recht“, so Cheng. „Unser Gedächtnis eignet sich fortwährend neue Elemente an. Wir machen Vieles aufgrund von Erlebtem, ohne dass wir uns bewusst an die Erlebnisse erinnern“, ergänzt Werning. „Dinge, die wir nur gehört haben, Taten, die wir nur beobachtet haben – später erinnern wir, dass wir das selbst gesagt oder gemacht haben. Es ist also nicht weit davon entfernt, dass jemand ein Bild malt und denkt, er habe sich das ausgedacht“, schließt Cheng.

False Memories

Der Forscher spricht aus eigener Erfahrung. Als seine Töchter klein waren, las er ihnen häufig die Geschichte eines Bären vor, der mit seinem Bärenkind zum Zahnarzt ging. Jahre später gab Cheng die Geschichte als seine eigene, erlebte Erfahrung aus. Seine Töchter berichtigten ihn: „Das hast du nicht erlebt, Papa, das hast du uns vorgelesen.“ „Ich habe mir die Geschichte selbst angeeignet“, gibt er lachend zu. Ein typisches Beispiel einer false memory. „In dem Moment, als ich das erzählte, war ich felsenfest davon überzeugt, dass das tatsächlich passiert ist.“ ▶

” UNSER
GEHIRN
GREIFT AUF
GIGANTISCHE
RESSOURCEN
ZURÜCK. “

Markus Werning



Wie gut erinnern wir,
wenn wir in stressigen Situationen,
etwa vor Gericht, aussagen sollen?
Studien haben gezeigt, dass Zeugen,
die unter Druck standen, sich häufig
falsch erinnerten.
(Adobe Stock, smth.design,
generiert mit KI)

” DIE IDEE, DASS UNSER GEHIRN
WIE EIN COMPUTER DATEIEN
SPEICHERT, STIMMT AUS
KOGNITIONSPSYCHOLOGISCHER
SICHT NICHT. “

Cheng und Werning arbeiten zusammen an einer Erklärung für diese und andere false memories. Ihre Theorie – ihr Szenariokonstruktionsmodell – widerspricht dabei radikal dem eingangs erwähnten Speichermodell beziehungsweise der klassischen Kausaltheorie der Philosophen Martin und Deutscher, nach der es eine Art kausale Kette zwischen einem gespeicherten Erlebnis und der Erinnerung gibt, also der Gedächtnisspur, die später abgerufen wird.

Konstruierte Szenarien

„Unsere Idee ist, dass eine episodische Erinnerung immer eine Konstruktion eines Szenarios beinhaltet. Das Szenario speist sich dabei aus der episodischen Gedächtnisspur, also Details dieser spezifischen Erfahrung, und semantischen Informationen“, erklärt Cheng. Mit semantischen Informationen seien generische Informationen, statistische Wahrscheinlichkeiten, Weltwissen gemeint. „Wir argumentieren, dass unser Gehirn nicht Abbilder der Realität abspeichert, sondern im Hippocampus nur ganz winzige Informationsfragmente, neuronale Spuren hinterlässt und diese dann mit unseren semantischen Informationen, die im Neocortex gespeichert sind, kombiniert“, ergänzt Werning.

Doch woran erkennen wir nun, ob eine Erinnerung auf einem wahren Erlebnis oder auf semantischen Informationen und Wahrscheinlichkeiten beruht? Wie decken wir false memories auf? Cheng und Kollegen haben dazu Virtual-Reality-Experimente mit Probanden durchgeführt. Darin durchlaufen die Versuchspersonen virtuell eine Wohnung mit drei Räumen: Bad, Wohnzimmer, Küche. Im Badezimmer steht ein Toaster. Nachdem die Probanden die Umgebung durchlaufen haben, werden sie befragt. In circa 35 Prozent der Fälle erinnerten sich die Personen an den Toaster im Bad. Und zwar aufgrund ihres episodischen Gedächtnisses und nicht aufgrund semantischer Informationen oder Ratens“, so Cheng. Warum er sich da so sicher ist? „Diejenigen, die sich falsch erinnerten, tippten in ungefähr gleich vielen Fällen auf die Küche, also den Ort, wo man den Toaster für gewöhnlich vorfinden würde, und nur selten auf das Wohnzimmer.“

Dieses virtuelle Experiment wollen Cheng und Werning künftig zur Beantwortung weiterer Forschungsfragen nutzen. Zum Beispiel: Inwiefern unterscheiden sich die Erinnerungen von jüngeren und älteren Menschen? Wer ist mehr oder weniger empfänglich für die Fallstricke unseres Geistes? Wie wirkt sich Stress auf unser Erinnerungsvermögen aus?

„Unsere Studien deuten darauf hin, dass der Szenariokonstruktionsprozess tatsächlich durch das Alter und auch durch Stress beeinflusst wird“, so Werning. „Unsere Theorie ist, dass ältere Menschen mehr auf semantische Informationen zurückgreifen, um sich an Ereignisse zu erinnern oder auch Entscheidungen zu treffen. Jüngere hingegen erinnern sich besser an episodische Details und treffen Entscheidungen basierend auf diesen Erinnerungen“, fasst Cheng zusammen. Auch Stress wirke sich vermutlich stark auf unser Erinnerungsvermögen aus. „Unsere Annahme ist, dass Stress dazu führt, dass man stärker statistische Muster und Wahrscheinlichkeiten abrufen, als selbst erlebte, spezifische Erkenntnisse

heranzuziehen“, erklärt Werning. „Stressige Situationen führen vermutlich dazu, dass man beim Erinnern limitiert ist und eher schematisch handelt. Das wollen wir weiter untersuchen“, so Cheng.

Die Ergebnisse könnten weitreichende Folgen haben für Menschen, die beruflich unter Druck Entscheidungen treffen oder Aussagen tätigen müssen, etwa Ärztinnen, Piloten oder eben auch Zeuginnen in Gerichtsverfahren. Gerade bei Zeugenaussagen sei Vorsicht geboten, wissen die Forscher. So sei bereits in Vorgängerstudien gezeigt worden, dass Zeuginnen und Zeugen, die unter Druck standen, sich häufig falsch erinnerten. „In einem Fall ging es um einen bewaffneten Überfall in den USA. Der Zeuge erinnerte, dass der Dieb eine Pistole trug. In Wirklichkeit zeigte die Überwachungskamera aber einen Baseballschläger. Die Waffe schien dem Zeugen wahrscheinlicher. Ein klarer Fall von semantischer Konstruktion“, schildert Werning. Längst widerlegt sei auch die Annahme, dass detailreiche Schilderungen von Zeugen besonders glaubhaft und damit wahr seien. „Auch jemand, der Schematisches abrufen kann, sehr detailgetreu berichten. Das ist nicht weniger detailliert als eine echte episodische Erinnerung“, so Cheng. „Unser Gehirn greift auf gigantische Ressourcen zurück“, bekräftigt Werning. Erinnern ist und bleibt nach ihrer Auffassung ein konstruktiver Prozess. Die Bochumer bleiben ihm auf der Spur.

lb

i WO ERINNERN WIR?

Kein Gehirnareal spielt eine so wichtige Rolle für das episodische Gedächtnis wie der Hippocampus. Hier hinterlässt das Erlebte neuronale Spuren. Aber natürlich wird nicht unsere gesamte Erinnerung hier allein generiert. Semantische Informationen werden zum Beispiel im Neocortex abgespeichert. Für verwandte Prozesse wie Aufmerksamkeit oder Entscheidungsfindung sind wieder andere Regionen zuständig. Im Grunde ist fast das ganze Gehirn an unserem Erinnerungsvermögen beteiligt.

i VON ALIENS ENTFÜHRT

In den USA wurden in der Vergangenheit spektakuläre Experimente durchgeführt, um zu zeigen, dass es möglich ist, Menschen explizit Erinnerungen einzureden. So wurde zum Beispiel Probanden weisgemacht, dass sie von Aliens entführt worden seien. Der Aufwand des ethisch durchaus bedenklichen Experiments war immens. Man fälschte Zeitungsberichte („Aliens gelandet“) und Zeugenberichte, verwickelte Probanden in Gespräche über Ufos, regte ihre Fantasien an. 30 Prozent glaubten am Ende, sich an die Alien-Entführung und den Besuch im Ufo erinnern zu können.

Im Gespräch

WAS SIND UNS MEDIZINISCHE FÜRTSCHRITTE WERT?

Die Hälfte der Arzneimittelkosten in Deutschland fällt für Therapien mit innovativen patentgeschützten Arzneimitteln an – obwohl sie nur sechs Prozent der Verordnungen ausmachen. (Fotos: Adobe Stock)

Neue Medikamente werden weltweit entwickelt und kommen schnell in Deutschland auf den Markt. Um sie überhaupt bezahlen zu können, deckeln Krankenkassen hierzulande die Preise. Das könnte sich künftig rächen

In Deutschland sind wir es gewohnt, dass neue Arzneimittel schnell verfügbar sind und von den Krankenkassen finanziert werden. Doch dieses System gerät derzeit ins Wanken. Warum, erzählt Prof. Dr. Stefan Huster im Interview. Der Jurist am Institut für Sozial- und Gesundheitsrecht der Ruhr-Universität Bochum war vier Jahre lang unparteiischer Vorsitzender der sogenannten AMNOG-Schiedsstelle zur Festsetzung der Arzneimittelpreise, welcher er als Stellvertretender Vorsitzender weiterhin angehört.

Herr Professor Huster, inwieweit ist Deutschland von anderen Ländern abhängig, um an innovative Arzneimittel zu kommen?

Neue Arzneimittel werden weltweit entwickelt, wir übernehmen also auch viele Innovationen aus dem Ausland. Die hohen Entwicklungskosten werden aber oft zu einem großen Teil von den USA getragen, weil dort die Arzneimittelpreise am höchsten sind. Deutschland ist eines der Länder, in denen am meisten neue patentgeschützte Arzneimittel auf den Markt kommen, und das auch am schnellsten. Aber es zeichnet sich ab, dass das so nicht weitergehen kann.

Wo ist das Problem?


Die Menschen leben immer länger und der medizinisch-technische Fortschritt wird immer schneller. Das sind erst mal gute Nachrichten. Natürlich wollen wir, dass allen Menschen unabhängig von ihrem Einkommen die gleiche medizinische Versorgung zusteht, deswegen haben wir ein solidarisches Gesundheitssystem. Aber das alles will bezahlt werden, und den Gesetzlichen Krankenkassen geht das Geld aus.

In anderen Ländern ist das nicht so?

Andere Länder in Europa wählen stärker aus, welche Arzneimittel durch die kollektiven Versorgungssysteme gezahlt werden und welche nicht. In Deutschland steht im Grunde mit der Marktzulassung alles sofort in der Versorgung der Gesetzlichen Krankenkassen zur Verfügung. Natürlich hat das deutsche System Vorteile, der medizinische Fortschritt kommt sozusagen ungefiltert in der Versorgung an. Aber das Problem ist, dass der Preis reguliert werden muss, damit das Ganze finanzierbar bleibt.

Wie hoch sind denn die Kosten für innovative Arzneimittel in Deutschland?

Die Gesundheitskosten steigen derzeit schneller als das Bruttoinlandsprodukt. Die innovativen patentgeschützten Arzneimittel machen nur sechs Prozent der Verordnungen aus, aber sind für die Hälfte der rund 50 Milliarden Euro Arzneimittelkosten verantwortlich. In extremen Fällen kann eine einzelne Behandlung bis zu vier Millionen Euro kosten. Ein großer Anteil der Arzneimittelkosten entfällt dadurch auf eine kleine Gruppe von Versicherten. So wurde im Jahr 2022 die Hälfte der Gesamtkosten für Arzneimittel der Barmer durch die Behandlung von 1,74 Prozent der Barmer-Versicherten verursacht. ▶



Anna Büscher hat am Bochumer Institut für Sozial- und Gesundheitsrecht promoviert. (Foto: tk)

NEUES MODELL FÜR DIE PREISFINDUNG

Preise für neue Medikamente sollten deren Zusatznutzen im Vergleich zu bestehenden Therapien widerspiegeln. Da das Preisgefüge der Branche ins Wanken gerät (siehe Interview), spielen wirtschaftspolitische Interessen vermehrt eine Rolle, zum Beispiel wie man Anreize für die Pharmaindustrie setzen kann, neue Medikamente zu entwickeln und Forschungs- und Produktionsstandorte in Deutschland zu eröffnen.

Dr. Anna Büscher hat in ihrer am Bochumer Institut für Sozial- und Gesundheitsrecht entstandenen Dissertation einen neuen Vorschlag für den Preisfindungsprozess erarbeitet. Dieser sieht zwei Ebenen vor: Auf der ersten Ebene wird wie bislang ein Preis erarbeitet, der sich am Zusatznutzen orientiert. Auf der zweiten Ebene können politische Instanzen, etwa das Bundesministerium für Gesundheit, Nachverhandlungen eröffnen. So ergibt sich ein weit größerer Entscheidungsspielraum, als es bisher der Fall ist. Das Bundesgesundheitsministerium könnte anders als aktuell zum Beispiel Arzneimittel aus der Versorgung ausschließen, Verordnungsbeschränkungen beschließen und auch außen- und industriepolitische Gründe einbeziehen.



Nele Walther forscht an der Juristischen Fakultät der Ruhr-Universität Bochum. (Foto: tk)

DIE SCHIEDSSTELLE – EIN BASAR?

Wenn Krankenkassen und Unternehmen sich nicht auf einen Preis für ein neues Arzneimittel einigen können, entscheidet eine Schiedsstelle. Sie besteht aus je zwei Vertreterinnen und Vertretern der Kassen und des jeweiligen Unternehmens, zwei unparteiischen, aber jeweils von einer Seite benannten Mitgliedern sowie einem unparteiischen Vorsitzenden, auf den sich Kassen und Industrie einigen müssen. Die Schiedsstelle entscheidet mit Mehrheit. Am Ende verfasst der oder die Vorsitzende eine Begründung für den festgelegten Preis, die von Gerichten überprüft werden kann. Aus diesem Dokument muss hervorgehen, wie die Kosten mit dem Zusatznutzen im Verhältnis stehen, den das neue Medikament im Vergleich zu etablierten Therapien hat.

„Natürlich ist die Preisfindung aber eine Aushandlungssache“, verrät Stefan Huster, der mehrere Jahre Vorsitzender der Schiedsstelle war. „Man spricht mit beiden Seiten, lotet Schmerzgrenzen aus und schaut, mit wem man eine Mehrheit findet.“

Nele Walther promoviert derzeit im Team von Stefan Huster zu der Frage, inwieweit die Schiedsstelle kriteriengeleitet angemessene Preise findet oder ob die Preise reine Verhandlungssache sind. Was genau der Charakter der Schiedsstellenentscheidung ist, ist derzeit eine ungelöste Frage. Aber davon hängen letztendlich die Maßstäbe für eine gerichtliche Kontrolle der Schiedsstellen-Entscheidungen ab.

Warum sind die Kosten neuer Medikamente so hoch?

Die Entwicklung dauert lange und ist für die Unternehmen kostenintensiv und riskant, weil sie nicht wissen können, ob nach vielen Jahren ein marktfähiges Medikament aus der Forschung herauskommt. Wenn ein neues Arzneimittel in den Verkauf geht, ist es durch ein Patent geschützt. Das Unternehmen hat keine Konkurrenz und kann den Preis festlegen. Es gibt also keinen echten Markt, der durch Angebot und Nachfrage bestimmt wird. Deswegen müssen sich die Gesundheitssysteme Wege überlegen, um den Preis zu regulieren.

Wie werden die Preise in Deutschland reguliert?

Lange Zeit waren die Preise in Deutschland gar nicht reguliert, da haben die Unternehmen bekommen, was sie wollten. Seit 2011 gibt es ein Preisregulierungssystem. Die Unternehmen konnten zunächst im ersten Jahr, inzwischen können sie in den ersten sechs Monaten den Preis frei bestimmen. In dieser Phase verhandeln die Krankenkassen und Unternehmen einen Preis für die Zeit danach, den sogenannten Erstattungsbeitrag.

Die Vorstellungen von Kassen und Unternehmen gehen vermutlich nicht immer in die gleiche Richtung.

Die Kassen wollen möglichst wenig zahlen, die Unternehmen möglichst viel verdienen. In etwa zehn Prozent der Fälle können sie sich nicht einigen.

Und dann?

Dann setzt eine Schiedsstelle den Preis fest, die aus Vertretern der Kassen und der Unternehmen sowie einem unparteiischen Vorsitzenden besteht.

Diese Rolle haben Sie von 2019 bis 2023 innegehabt.

Ja, und da stellen sich teils schwierige Fragen. Wenn ich sehe, dass es ein neues Medikament gibt, das Krebspatienten ein im Durchschnitt sechs Monate längeres Leben ermöglicht, was ist uns das dann wert? Und was ist für die Kassen überhaupt finanzierbar? Ein Problem ist auch: Wenn man einen zu niedrigen Preis anbietet, kann es passieren, dass ein Unternehmen sein Medikament in Deutschland gar nicht auf den Markt bringen möchte – weil das auch Konsequenzen für den Preis in anderen Ländern hätte.

Warum bestimmt Deutschland über den Preis in anderen Ländern?

Deutschland ist mit seinen ausgehandelten Preisen bislang sehr offen umgegangen, und andere europäische Länder orientieren sich in ihren Verhandlungen mit den Unternehmen daran. Wenn Deutschland also den Preis senkt, zieht das womöglich in 20 anderen Ländern auch den Preis runter.



Rund 50 Milliarden Euro zahlen die gesetzlichen Krankenkassen in Deutschland jährlich für verordnete Arzneimittel. (Foto: tk)

Andere Länder halten die ausgehandelten Preise geheim, auch bei uns gibt es dazu jetzt eine Diskussion. Mehr Vertraulichkeit ist in Ländern mit einem staatlichen Gesundheitssystem aber einfacher als bei uns, wo es so viele verschiedene Kassen und private Leistungserbringer gibt.

Wie sind denn die Preise in den USA, wo die Medikamente entwickelt werden?

Die Preise sind doppelt, manchmal zehnmal so hoch wie bei uns, weil es kein einheitliches Gesundheitssystem gibt und quasi jede Versicherung und jeder Arbeitgeber selbst mit den Unternehmen verhandelt. Die US-Amerikaner sagen schon lange, dass sie das Gefühl haben, Forschung und Entwicklung für die ganze Welt zu zahlen. Und das wollen sie nicht mehr.

Wie gehen die USA damit um?

Sie reagieren mit Zöllen, mit denen sie Druck ausüben wollen. Die USA haben zum Beispiel mit Großbritannien ein Abkommen verhandelt. Es besagt, dass die Briten ihre Arzneimittel zollfrei in die USA exportieren können, dafür aber ihre Arzneimittelpreise in Großbritannien um 25 Prozent anheben. Die Idee ist, die finanzielle Last für die Arzneimittelentwicklungskosten mehr nach Europa zu verlagern.

Wäre es denkbar, dass die Arzneimittelpreise in den USA sinken?

Ja, es steht im Raum, dass die Preise in den USA auf die Preise in Europa referenziert werden sollen. Dadurch würden Arzneimittel in den USA günstiger werden, was riesige Einbußen für die Unternehmen bedeuten würde. Die USA sind für sie mit Abstand der größte Markt. Dann hätte die Branche ein echtes Problem; Unternehmen könnten entscheiden, we-



Stefan Huster leitet an der Ruhr-Universität Bochum das Institut für Sozial- und Gesundheitsrecht. (Foto: tk)

niger Medikamente zu entwickeln, weil ihnen das finanzielle Risiko zu hoch ist. Oder sie gehen mit ihren Medikamenten in Europa gar nicht mehr oder verzögert auf den Markt, weil sie sich von den Europäern nicht die Preise in den USA verderben lassen wollen. Man kann bereits beobachten, dass einige Unternehmen bei der Einführung ihrer Produkte in Europa zurückhaltend sind.

Ist denn auch eine Lösung in Sicht?

Es gibt im Moment in Deutschland den sogenannten Pharma- und Medizintechnikdialog, in dem sich die Bundesregierung mit Pharmaunternehmen, Verbänden, Wissenschaft und weiteren Stakeholdern austauscht, wie man die Bedingungen für die Pharmaindustrie verbessern und die Preise für Arzneimittel künftig gestalten kann.



Anna Ngo vermehrt genetisch veränderte Bakterien, um ihnen später die Enzyme zu entnehmen, die sie braucht.

Biotechnologie

ELEKTROKATA- LYSE FÜR EINEN GUTEN ZWECK

Ramineh Rad und Anna Ngo vereinen das Beste aus Elektro- und Biokatalyse. So wollen sie nachhaltig und preisgünstig an begehrte Chemikalien kommen.

Ein unscheinbarer grauer Knopf in einem transparenten Tütchen ist der Ort, an dem alles geschieht, was zu einer nachhaltigeren und preisgünstigeren Erzeugung von Wertstoffen für die chemische Industrie führen soll. Der Knopf besteht aus Nickelschaum, und auf seiner Oberfläche hat Anna Ngo bestimmte Enzyme befestigt. Sie stammen aus genetisch veränderten *E. coli*-Bakterien, die Anna Ngo im Labor vermehrt. „Die Enzyme kann ich gezielt aus den Zellen extrahieren“, erläutert die Biochemikerin, die in der Arbeitsgruppe von Prof. Dr. Dirk Tischler an der Ruhr-Universität Bochum als Postdoktorandin arbeitet. Auf der chemisch vorbehandelten Oberfläche des Nickelschaums haften sie dann von selbst an.

Kaskade in drei Schritten

Der so präparierte Knopf wird in eine elektrokatalytische Zelle eingebaut und dient darin als Anode. „Wir entwickeln eine kombinierte Bio-Elektrokatalyse als modulare Kaskade zur Kopplung elektrochemischer Prozesse mit biokatalytischen Reaktionen“, erklärt Ramineh Rad als Doktorandin aus der Arbeitsgruppe von Prof. Dr. Ulf-Peter Apfel in der Fakultät für Chemie und Biochemie der Ruhr-Universität. Dabei konzentrieren sich die beiden Forscherinnen auf die Anode – die Kathode bleibt zunächst außen vor. Die Elektrokatalytische Zelle wird mit einer Pufferlösung gefüllt. Je nachdem, welche Enzyme sich auf dem Nickelschaum befinden und welchen Ausgangsstoff man hinzufügt, laufen an der Anode dann verschiedene Reaktionen gleichzeitig ab.

„Wir fangen in unserer Arbeit mit dem letzten von drei möglichen Schritten an zu testen“, sagt Anna Ngo. Das Enzym auf der Anode heißt in diesem Fall Format-Dehydrogenase. ▶

Dieser Knopf besteht aus Nickelschaum. An seiner Oberfläche sind Enzyme befestigt.

Fügt man Format hinzu, klagt sich das Enzym davon Elektronen. Es bleibt CO_2 übrig. Als Cosubstrat benötigt das Enzym NAD^+ , das die geklauten Elektronen aufnimmt und so zu NADH wird. An diesem Punkt kommt die Elektrokatalyse ins Spiel: Setzt man die Anode unter Spannung, regeneriert sich das Cosubstrat und steht für erneute Reaktionen wieder zur Verfügung.

Richtig interessant wird das System, wenn zwei oder drei Enzyme an der Anode aktiv sind. „Unsere geplante Kaskade sieht so aus“, erklärt Anna Ngo, „dass wir auch die beiden Enzyme Alkohol-Dehydrogenase und Formaldehyd-Dehydrogenase auf der Anode befestigen. Wenn wir dann Methanol hinzugeben – einen billigen Abfallstoff der Industrie – entsteht daraus Formaldehyd. Es ist ein Ausgangsstoff für bestimmte Kunststoffe. Nebenher wird aus NAD^+ durch Elektronenübertragung NADH , das durch die Elektrokatalyse regeneriert wird. Im nächsten Schritt wird aus Formaldehyd durch das entsprechende Enzym Format. Daraus kann man zum Beispiel Aromen herstellen.“ Je nachdem, welche Enzyme man nutzt, lässt sich bestimmen, welches Produkt man erhält.

Teure Cofaktoren herstellen

Und auch an den Cofaktoren beziehungsweise Cosubstraten haben die Forscherinnen ein großes Interesse. Denn während NAD^+ mit um die 20 US-Dollar pro Gramm schon recht teuer ist, ist NADH rund das Doppelte wert. „Wenn man den Strom abschaltet, kann man den teureren Cofaktor erzeugen und entnehmen“, erläutert Ramineh Rad.

In einem weiteren Arbeitsschritt wollen die Forscherinnen die Enzyme so beeinflussen, dass sie verschiedene Cosubstrate akzeptieren können. Neben NADH käme dann auch NADP^+ infrage – mit rund 49 US-Dollar pro Gramm noch teurer. Nach der Enzymreaktion entsteht daraus allerdings NADPH , für das immerhin rund 275 US-Dollar pro Gramm verlangt werden.

Alle diese Reaktionsschritte lassen sich auch mittels Elektrochemie allein bewerkstelligen. Aber: Dafür sind umweltschädliche Stoffe und energieintensive Temperaturen nötig. Das spart man sich dank der biologischen Komponenten. „Um sie stabil ans Arbeiten zu bringen, haben wir Temperatur, pH-Wert, elektrische Spannung und andere Rahmenbedingungen für sie optimiert“, sagt Anna Ngo.

„Unsere Enzymkaskade erlaubt es, auf nachhaltige Weise aus Abfall wertvolle Stoffe zu gewinnen“, sagt Ramineh Rad. „Und dabei ist sie modular betreibbar, also flexibel.“ Da sich die Cofaktoren immer wieder regenerieren, können die Reaktionen über lange Zeit stabil ablaufen. „Wir haben unseren Aufbau schon über Nacht betrieben“, erzählt Anna Ngo. „Dabei sinkt die Effektivität mit der Zeit ein wenig ab, aber das System funktioniert stabil. Befüllt man die Zelle neu mit Puffer, Cofaktoren und Ausgangsstoffen, kann man dieselbe Anode wiederverwenden. „Zwei Zyklen haben wir schon erfolgreich getestet, wir planen mit bis zu zehn Zyklen“, so Ramineh Rad.




Anna Ngo (links) und Ramineh Rad arbeiten gemeinsam an dem Projekt an der Grenze zwischen Chemie und Biologie.

„
UNSERE
ENZYMKASKADE
ERLAUBT ES, AUF
NACHHALTIGE
WEISE AUS
ABFALL WERT-
VOLLE STOFFE
ZU GEWINNEN.

“

Ramineh Rad



Ramineh
Rad bestückt
eine elektro-
katalytische Zelle.

In solch
einer Zelle
laufen die
Reaktionen
ab.



ENDLICH WIEDER BESSER GEMEIN KÖNNEN

Die ältere Frau geht langsam den Gehweg entlang. In regelmäßigen Abständen bleibt sie stehen, als wolle sie etwas im Schaufenster genauer betrachten. Ihr Gesichtsausdruck verrät Anstrengung. Erst beim zweiten Hinsehen merkt man, dass sie gar nicht wirklich an den Auslagen interessiert ist. Es ist die Schaufensterkrankheit, die sie zwingt, nach einigen Metern immer wieder innezuhalten. Bei dieser Erkrankung, auch periphere arterielle Verschlusskrankheit genannt, ist durch eine Verengung der Gefäße in den Beinen der Blutfluss zu den Muskeln verringert. Dadurch kommt nicht genügend Sauerstoff an, der Muskel ermüdet schnell und braucht eine Pause.

Menschen mit dieser Krankheit könnten in Zukunft von der Forschung des Bochumer Doktoranden Leon Lauret profitieren. Der Sportwissenschaftler möchte im Rahmen seiner Promotion in Kooperation mit Prof. Dr. Daniel Hahn vom Lehr- und Forschungsbereich Bewegungswissenschaft und Dr. Marc Neumann von der Arbeitsgruppe Biomedical Engineering der Ruhr-Universität Bochum ein neuartiges Exoskelett entwickeln. Dieses soll überwiegend mechanisch funktionieren und Menschen mit Mobilitätseinschränkungen das Gehen erleichtern.

Von der Natur abgeschaut

Exoskelette sind Außenskelette, wie sie in der Natur häufiger vorkommen, zum Beispiel bei Insekten und Krebsen. Da die Entwicklung solch einer Vorrichtung nicht nur viel Verständnis des menschlichen Bewegungsapparates erfordert, sondern auch eine große Portion Ingenieurwissen, teilt sich Leon Laurets Arbeit auf beide Forschungsgruppen auf.

„Durch seine Arbeit in beiden Arbeitsgruppen wandelt Leon quasi zwischen den Welten“, sagt Daniel Hahn mit einem Augenzwinkern. „Er arbeitet bei uns an der Fakultät für Sportwissenschaft an der Frage, wie die Mensch-Seite der Mensch-Technik-Interaktion funktioniert und wie eine Unterstützung eigentlich aussehen muss. Welche Anpassungen am Exoskelett müssen je nach Nutzer oder Nutzerin möglich sein? Bei den Ingenieuren wiederum ist er viel in der Werkstatt und entwickelt dort quasi die Hardware, also die Orthesenschale und die Mechanik, die an dieser verbaut werden soll“, so der Lehrstuhlinhaber.

Exoskelette gibt es schon länger. Sowohl solche, die querschnittsgelähmten Men- ▶

Mit einem neuartigen Exoskelett wollen Bochumer Forscher Menschen helfen, die in ihrer Mobilität eingeschränkt sind. Vorbild ist die Natur.

Noch arbeiten die Wissenschaftler an einem Prototyp. Das fertige Exoskelett könnte später einmal Menschen mit Mobilitätseinschränkungen beim Gehen helfen.



Eine Möglichkeit ist, einen Hebelarm unten an der Orthese anzubringen, der sich wiederum durch eine Feder mit einem Kuppelungsmechanismus weiter oben verbindet. Bei einem Schritt nach vorne spannt sich die Feder zunächst und gibt die dabei gespeicherte Energie anschließend frei, wodurch das Gehen leichter wird.



Daniel Hahn (vorne) vom Lehr- und Forschungsbereich Bewegungswissenschaft sieht sich gemeinsam mit Leon Lauret an, wie sich der Muskel des Probanden (im Hintergrund) verhält, wenn dieser das Exoskelett beim Gehen auf dem Laufband trägt.

schen das Stehen und Gehen ermöglichen, als auch solche, die Sportlerinnen und Sportler oder schwer körperlich arbeitende Menschen in ihren Bewegungen unterstützen, zum Beispiel beim Skifahren oder Pakete heben. Allerdings sind diese Exoskelette meist motorbetrieben und benötigen einen zum Teil großen und schweren Akku. Leon Lauret möchte hingegen eine überwiegend mechanische Unterstützung entwickeln, die ohne Motor auskommt.

Tüfteln am Prototypen

Die Idee kam ihm, als er die Nature-Publikation einer amerikanischen Forschungsgruppe aus dem Jahr 2015 entdeckte. Die Wissenschaftler beschrieben darin ein sogenanntes passives Exoskelett. Dieses ermöglichte den Nutzerinnen und Nutzern erstmalig, mit geringerem Energieverbrauch zu gehen, ohne dass zusätzliche Energie über einen Motor eingespeist wird. Die Konstruktion bestand aus einer Unterschenkelorthese, an der auf Höhe der Ferse ein großer Hebelarm angebracht war, der sich wiederum durch eine Feder mit einem Kupplungsmechanismus weiter oben verband. Bei einem Schritt nach vorne spannte sich die Feder zunächst und gab die dabei gespeicherte Energie anschließend frei, wodurch das Gehen leichter wurde.

„Das Paper hat viel Aufmerksamkeit bekommen und hohe Wellen geschlagen“, erzählt Daniel Hahn. „Die Idee hat auch uns fasziniert. Aber dieses Exoskelett war durch den langen Hebelarm nicht für den Alltag geeignet, denn dieser passt weder unter eine Hose noch in einen Schuh, und er macht auch das Steigen von Treppen oder Bergauflaufen unmöglich,“ schließt sich Leon Lauret an.

Da sich die Kernforschung am Lehr- und Forschungsbereich Bewegungswissenschaft mit dem menschlichen Muskel-Sehnenkomplex und der neuronalen Steuerung von

Muskeln befasst, entschied sich Leon Lauret dazu, im Rahmen einer Doktorarbeit eine verbesserte, alltagstauglichere Version dieses ersten mechanischen Exosketts zu entwickeln, das später mobilitätseingeschränkten Menschen wie Älteren und solchen mit peripherer arterieller Verschlusskrankheit helfen kann.

Gefördert wird das Projekt zwei Jahre lang durch das Zentrale Innovationsprogramm Mittelstand des Bundesministeriums für Wirtschaft und Energie, das mittelständische Unternehmen fördern will. Daher läuft das Forschungsprojekt in Kooperation mit dem Ausstatter von Orthopädie-Werkstätten AFT-International.

Bei seiner Arbeit in der Arbeitsgruppe Biomedical Engineering beschäftigt sich Leon Lauret mit der Entwicklung eines Mechanismus, der die von der Orthese gespeicherte Unterstützung zum richtigen Zeitpunkt freigeben kann. „Der Federmechanismus soll später nicht dauerhaft aktiv sein, sondern nur bei Bedarf zugeschaltet werden können. Die besondere Herausforderung besteht darin, dass über den Kupplungsmechanismus erhebliche Kräfte übertragen werden müssen. Gleichzeitig steht aus ergonomischen Gründen nur sehr wenig Platz für den gesamten Mechanismus zur Verfügung“, erklärt Marc Neumann.

Die Unterstützung durch das Exoskelett muss dabei nicht nur von Patient zu Patient angepasst werden, sondern sich auch verschiedenen Gegebenheiten anpassen können. Läuft man bergauf, soll es sich anders verhalten, als wenn man bergab läuft. Mithilfe von integrierten Sensoren in der Orthese sollen deshalb die idealen Schaltpunkte in Echtzeit bestimmt und während der Bewegung laufend angepasst werden. Ein kleiner elektromechanischer Antrieb sorgt dafür, dass der Kupplungsmechanismus schnell und ohne Verzögerung ein- und ausgeschaltet werden kann.



Leon Lauret steckt viel Herzblut in die Entwicklung des Exoskeletts. Um den Prototypen herzustellen, verbringt er viele Stunden am Computer, im Labor und in der Werkstatt. Seine Arbeit findet sowohl am Lehr- und Forschungsbereich Bewegungswissenschaft und in der Arbeitsgruppe Biomedical Engineering statt.

Sie sind für die technische Entwicklung des Prototyps in der Arbeitsgruppe Biomedical Engineering zuständig: Christian Sure, Marc Neumann und Leon Lauret (von links).

Um jedem Patienten und jeder Patientin gerecht zu werden, arbeiten die Ingenieure außerdem an einer Benutzeroberfläche, sodass die Orthese auch an den Fortschritt der Patientinnen und Patienten angepasst und so über den gesamten Versorgungsprozess getragen werden kann. Ist die Person in ihrem Rehabilitationsstadium noch am Anfang, soll die Orthese sie mehr unterstützen, als wenn das Rehabilitationsstadium vorangeschritten ist.

Unterstützung ohne Motor

Leon Lauret, Daniel Hahn und Marc Neumann stecken noch in der Anfangsphase des Projektes. Ein erster Prototyp aus Carbonfaser liegt vor ihnen auf dem Tisch, doch dieser ist noch weit entfernt von einem einsatzfähigen Produkt. Momentan tüfteln die Wissenschaftler vor allem daran, wie man den Hebelarm kürzer und damit alltagstauglicher bekommt.

„Es gibt mehrere Möglichkeiten, eine mechanische Übersetzung einzubauen, die dann statt des Hebelarms die Feder spannt. Unsere Idee ist es, den Mechanismus eher parallel am Sprunggelenk zu platzieren und nicht an der Ferse. Die größte Schwierigkeit dabei sind die hohen Kräfte, die auf die Kupplung wirken, wenn wir den Hebelarm kleiner machen“, erklärt Leon Lauret.

Ist ein erster Prototyp dieser Art gebaut, wird Lauret den Faktor Mensch ins Spiel bringen. „Dann werden wir Versuche am Muskel machen und testen, welche Unterstützung das System eigentlich geben muss“, so Daniel Hahn. Den Wissenschaftlern ist nämlich wichtig, dass sich ihr Exoskelett so fein auf den jeweiligen Träger oder die Trägerin abstimmen lässt, dass diese sich nicht in ihrem natürlichen Bewegungsablauf gestört fühlen. Sonst fühlt es sich für die Nutzerinnen und Nutzer an, als hingen sie an Marionettenfäden und würden fremdgesteuert, was vor allem ältere Menschen sehr verunsichern kann.

Um die Mensch-Technik-Interaktion besser zu verstehen, visualisiert Leon Lauret die Muskeln von Testpersonen bei verschiedenen Bewegungen mittels Ultraschallgerät. So kann er beobachten, ob und wie sich das mechanische Verhalten der Muskulatur ändert, wenn man ein Exoskelett trägt. Auch Elektromyografien, also Ableitungen der Nervenströme, sind geplant, denn so lassen sich Muskelaktivitäten und Reflexe messen. Daniel Hahn erklärt, warum das so wichtig ist: „Muskeln und der Muskel-Sehnen-Komplex haben relativ fein getrimmte Eigenschaften. Es gibt für jeden Muskel einen optimalen Bereich, Kraft zu erzeugen. Wenn er länger oder kürzer ist, kostet das mehr Energie.“ Mit Ultraschall können die Forschenden sehen, ob der Muskel im optimalen oder suboptimalen Bereich arbeitet, während die Testperson ein Exoskelett trägt.

Spannend findet das Forscherteam auch die Frage, wie sich das Tragen eines Exoskeletts langfristig auf den menschlichen Körper auswirkt. „Es gibt noch keine Studien, die langfristige Effekte untersuchen. Schrumpfen die Muskeln durch die Unterstützung? Oder wachsen sie wegen der vermehrten Bewegung? Verändert sich das Gangbild? Und wenn ja, eher zum Positiven oder zum Negativen?“, fragt sich Leon Lauret. Doch diese Überlegungen stellen die Forscher hintenan, denn erst einmal müssen sie sich vollkommen auf die Entwicklung des Exoskeletts konzentrieren.

Mit ihrem innovativen Exoskelett könnten Leon Lauret und sein Team dann nicht nur die Lebensqualität von Menschen mit Schaufensterkrankheit erheblich verbessern, sondern auch neue Wege in der Rehabilitation und Mobilitätshilfe ebnen.

Text: rr, Fotos: dg



Diese antike Gemme aus dem ersten Jahrhundert nach Christus war im Mittelalter Teil eines Arm-Reliquiars des Heiligen Nikolaus. (Bild: Bibliothèque Nationale de France, Foto: Serge Oboukhoff, BnF-CNRS-Maison Archéologie et Ethnologie, René-Ginouvès)

„ES IST MIR EIN RÄTSEL, WARUM SICH DIE VORSTEL- LUNG VOM DÜSTEREN MITTELALTER HÄLT“

Ulrich Rehm sieht im Mittelalter keinen Bruch mit den Figuren und der Formensprache der Antike.
(Foto: tk)



Ulrich Rehm liefert handfeste Belege dafür, dass sich die Menschen im Mittelalter bewusst mit den Werken der Antike auseinandersetzten.

Die Götter und Helden der Antike hatten im Mittelalter keine Konjunktur: Wenn man sie überhaupt dargestellt hat, dann nur auf christliche Figuren übertragen und nur angepasst an die mittelalterliche Formensprache, also wenig naturgetreu und nackt allenfalls, wenn man sie diffamieren wollte. Diese Ansicht galt nahezu das ganze 20. Jahrhundert hindurch als eine Art Grundgesetz der Kunstgeschichte. Der Kunsthistoriker Prof. Dr. Ulrich Rehm folgt dieser Überzeugung nicht. Er hat auf über 400 Seiten belegt, dass die Menschen im Mittelalter die antiken Werke sehr wohl rezipiert und keineswegs nur christlich umgedeutet und formal angepasst haben. Im Interview erzählt er, wie es zu dieser Deutung kam.

Herr Prof. Rehm, warum war man so lange der Überzeugung, das Mittelalter habe die antiken Werke umgedeutet?

Dazu muss ich ein wenig ausholen. Am Anfang stand ein Aufsatz, den 1933 der deutsche Kunsthistoriker Erwin Panofsky in New York veröffentlicht hat. Er hatte in Hamburg an der Kulturwissenschaftlichen Bibliothek Warburg gearbeitet, war aber aufgrund seiner jüdischen Herkunft nach der Machtergreifung der Nazis entlassen worden. Die Bibliothek konnte nach London umziehen. Sie war allerdings nach dem Tod ihres Gründers, des Bankerben Aby Warburg, im Jahr der Weltwirtschaftskrise 1929 in finanzielle Schwierigkeiten geraten. Panofsky tourte daher mit Vorträgen zur klassischen Mythologie im Mittelalter durch die USA, um internationale Unterstützer zu finden. Mit den vielen bis dahin kaum bekannten Bildbeispielen und der stupenden Kenntnis mittelalterlicher Texte wollte er die Leistungsfähigkeit der Hamburger Bibliothek unter Beweis stellen. Auf diese Arbeiten geht die Überzeugung zurück.

Wie argumentiert er?

Panofsky spricht von „Disintegration“: Seiner Ansicht nach wurde die klassisch-antike Formensprache einer Venus Medici oder eines Apoll vom Belvedere im Mittelalter auf christliche Figuren wie Jesus und Maria übertragen. Die sogenannten heidnischen Götterfiguren hingegen seien mittelalterlichem Formenvokabular angepasst worden. Sie wurden eher nicht nackt dargestellt wie viele von ihnen in der Antike. Die Körperoberflächen waren schlichter, zeigten weniger anatomische Details. Das Haar wurde schematischer gearbeitet. Panofsky ist überzeugt, dass das Heidnische im Mittelalter nicht positiv konnotiert wiedergegeben werden konnte. ▶



Diese Zeichnung aus dem 12. Jahrhundert zeigt das Element der Luft in menschlicher Gestalt mit den vier Winden. Um ihn herum sind die neun Musen angeordnet sowie Repräsentanten der antiken Musikgeschichte: Orpheus, Pythagoras und Arion. (Bild: Bibliothèque Carnegie de Reims, <http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0/deed.fr>)

Das konnten Sie aber widerlegen?

Ja. Es gab zwar gerade im Bereich der dreidimensionalen Darstellung eine größere Unterbrechung durch Augustinus. Er wehrte sich gegen die Behauptung, das Christentum hätte den Untergang des römischen Staates verursacht, indem er konterte, der römische Götzenkult sei es gewesen, an dem Rom zugrunde gegangen sei, also die kultische Verehrung von Götterstandbildern. Aber es gab politisch keine Zäsur. Man sah sich als Fortsetzung des Römischen Reiches. Kaiser haben sich in römischen Särgen bestatten lassen, sogar mit Bildern römischer Götter.

Es gibt viele bewusste Anchlüsse an die Antike. Antike Gemmen, Münzen und andere Gegenstände wurden schon im Mittelalter gesammelt. Wir haben schriftliche Zeugnisse aus karolingischer Zeit – um das Jahr 800 herum –, die belegen, dass antikes Wissen systematisch ins Mittelalter transferiert wurde. Der Schwerpunkt lag dabei auf der Astronomie, da gab es natürlich Anknüpfungspunkte zu den Mythen. Es ging darum, die Schöpfung zu begreifen. Die sichere Berechnung des Ostertermins rechtfertigte diese Bemühungen. Dazu gibt es hunderte Seiten lange Ausführungen. Die Heldinnen und Helden der Mythologie wurden in Sternbilder figürlich hinein projiziert. Die Vorbilder waren natürlich nicht immer die großen Marmorstatuen, aber antike Handschriften mit ihren Miniaturen, Bronzefiguren, Münzbilder. Und nicht nur Schriften, wie Panofsky meint.

Er meint, die Menschen im Mittelalter hätten antike Werke gar nicht direkt betrachtet, sondern nur Beschreibungen gelesen?

Ja, jedenfalls beginnend mit der Zeit ab circa 1000. Aber das kann nicht stimmen. Das belegen auch Zeichnungen, auf denen man antike Münzmotive wiedererkennt, die sich auf längst verlorene Kultstätten eines Apoll oder einer Kybele beziehen. Es gibt zum Beispiel eine laienhafte Zeichnung, die

Kybele war eine relativ neue römische Göttin. Die Person, die diese Zeichnung in der zweiten Hälfte des 11. Jahrhunderts angefertigt hat, muss sie in bildlichen Darstellungen gesehen haben, beispielsweise auf antiken Münzen. (Bild: Bayerische Staatsbibliothek, Victorius Aquitanus. Martianus Capella. Remigius Autissiodorensis. Gregorius Magnus – BSB Clm 14271)

eindeutig die Göttin Kybele darstellt. Sie ist eine neuere römische Göttin, und die bildlichen Details lassen sich nicht anhand bloßer Textkenntnis erklären. Es muss also eine direkte visuelle Rezeption gegeben haben. Das alles sind Belege eines bewussten Umgangs mit antiken Figuren im Mittelalter.

Es gibt auch – ein anderes Beispiel – eine antike Gemme, einen Steinschnitt, der die nackte Venus darstellt. Sie war Teil eines mittelalterlichen Armreliquiars des heiligen Nikolaus, in dem sein Armknochen aufbewahrt wurde. Die Gemme war der Punkt, den man küsste, um dem heiligen Nikolaus zu huldigen. Wissenschaftler*innen des 20. Jahrhunderts waren – wie Panofsky – der Überzeugung, die Menschen im Mittelalter hätten diese Venus-Figur als Maria gedeutet.

Wie kam es denn zu diesen Überzeugungen Panofskys?

Ich denke, da gibt es einen Bezug zu seinem eigenen Erleben in der deutschen Geschichte. Er sieht in der griechischen Antike eine ideale Menschlichkeit, ein Ideal von Freiheit, wie auch Schiller das tut. Die Antike erscheint als eine Hochphase, gefolgt von einem Rückfall ins Chaos des Mittelalters, in dem die Kirche die Freiheit einschränkt, und da wird gleich das ganze Mittelalter mit verhaftet. Später in den 1960er-Jahren versucht Panofsky das noch einmal ausführlicher anhand der Renaissance weiter zu belegen. Seiner Ansicht nach hat das freiheitliche Zusammenleben der Menschheit in der Antike einmalig funktioniert – danach nur noch als Abglanz,



Diese Darstellung des Herkules an der San-Donnino-Kathedrale in Italien aus dem 13. Jahrhundert entspricht der mittelalterlichen Formensprache: Er ist nicht nackt dargestellt, die anatomischen Einzelheiten sind nicht herausgearbeitet, die Körperoberfläche ist schlicht, das Haar schematisch dargestellt. (Foto: Adobe Stock, gabriffaldi)



Dieser Herkules an der Kanzel des Baptisteriums Nicola Pisano in Italien, ebenfalls aus dem 13. Jahrhundert, zeigt dagegen klassische Merkmale: Er ist nackt dargestellt, die Körperoberfläche sehr detailliert und naturorientiert, ebenso wie das Haar. (Foto: Wikimedia Commons)

auch in der italienischen Renaissance. Er sieht sich selbst als einen Klassizisten undercover.

Das Mittelalter hat ja bis heute den Ruf, ein düsteres Zeitalter gewesen zu sein.

Die europäische Moderne definiert sich aus der Renaissance und begründet damit ihre eigene Zivilisiertheit. Die Renaissance erscheint als die Vorstufe des eigenen Modells. Daher kommt wohl die Mittelalterfeindlichkeit. Diese Klischees halten sich hartnäckig.

Für mich ist der Beginn der Frühen Neuzeit eher ein zivilisatorischer Abstieg. Er markiert den Beginn der Kolonialisierung, der extremen und systematischen Ausbeutung sowohl von Menschen als auch der Erde, die ersten Monokulturen kamen auf, die Sklaverei, der Niedergang der Frauenrechte, die Abwertung und das Unsichtbarmachen weiblicher Arbeit. Die systematische, institutionalisierte Hexenverfolgung nahm ihren Anfang. Man muss sich nur die Biografie eines Goya anschauen, dann bekommt man eine Vorstellung vom Druck, von der Angst und dem Misstrauen in der Frühen Neuzeit.

Es ist mir ein Rätsel, warum sich die Vorstellung vom düsteren Mittelalter hält. Vielleicht, weil diese Phänomene der Frühen Neuzeit nie aufgehört haben zu existieren. Weil wir global gesehen heute immer noch Ausbeuter sind.

md

WACHSENDE SCHALTKREISE FÜR NEUE COMPUTER

Wer einen klassischen Computer bauen will, entwirft zunächst einen Schaltplan und verdrahtet die elektronischen Komponenten dann streng nach Konzept. Es gibt jedoch Rechenmaschinen auf diesem Planeten, die auf ganz andere Weise entstehen: biologische Nervensysteme. Die Natur zeigt, dass auch aus lokalen Regeln, Fluktuationen und millionenfachen Wechselwirkungen funktionierende Netzwerke erwachsen können. Genau diese Prinzipien wollen Forschende um Prof. Dr. Karlheinz Ochs an der Ruhr-Universität Bochum für neue elektronische Systeme nutzbar machen. „Die Natur ist sehr effizient darin, Intelligenz selbstständig und ohne großen Energieaufwand hervorzubringen“, sagt Ochs vom Lehrstuhl für Digitale Kommunikationssysteme.

Statt auf immer größere, energiehungrigere Rechenzentren zu setzen, erforscht Ochs eine andere Richtung: elektronische Systeme, die Struktur, Speicher und Rechenprozess enger miteinander verschränken und energieeffizient arbeiten. Solche Architekturen könnten besonders bei komplexen Optimierungsaufgaben von Vorteil sein. Also dort, wo klassische digitale Rechner viel Aufwand treiben müssen.

Der Schlüssel für die Realisierung solcher Systeme ist, zu verstehen, wie die Natur mit physikalischen Prozessen rechnet. Dabei helfen Modellorganismen – und selbst von einfachen Kreaturen lässt sich viel lernen. Obwohl der Schleimpilz *Physarum* ein einfacher einzelliger Organismus ist, kann er einen Weg durch ein Labyrinth finden. „Rechnen beginnt hier schon auf der Ebene von Material, Fluss und Rhythmus – ganz ohne Nervenzellen“, sagt Ochs.

Von einzelligen zu komplexeren Modellorganismen

Auch der Fadenwurm *C. elegans* mit seinen nur 302 Nervenzellen lieferte dem Forscher wichtige Erkenntnisse. Er erstellte einen digitalen Zwilling des Systems, der ihm erlaubte, Netzwerke im Modell zu verändern und so Beziehungen zwischen Struktur und Funktion systematisch zu untersuchen. Auch für die Hydra, einen Süßwasserpolyphen, interessierte sich der Wissenschaftler, weil ihr Nervensystem sich immer wieder erneuert, was zeigt, wie trotz eines ständigen Umbaus Funktion erhalten bleiben kann.

Gemeinsam mit dem Biologen Prof. Dr. Robin Hiesinger von der Freien Universität Berlin untersucht Karlheinz Ochs derzeit die Entwicklung des visuellen Systems der Fruchtfliege *Drosophila*. Die beiden interessieren sich dafür, wie sich ▶

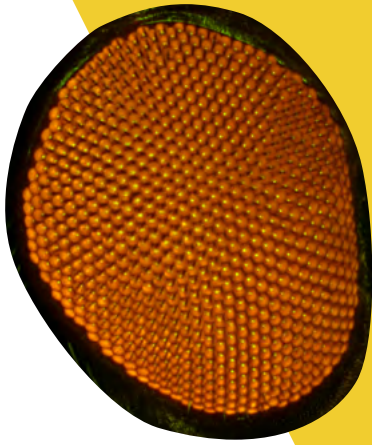
Elektronik, die ohne vorgegebenen Schaltplan von allein in funktionale Strukturen wächst – die Natur macht vor, wie es geht.

Mit diesem Organismus fing alles an: Der erste digitale Zwilling, den Karlheinz Ochs erstellte, repräsentierte einen Schleimpilz. (Foto: Karlheinz Ochs)

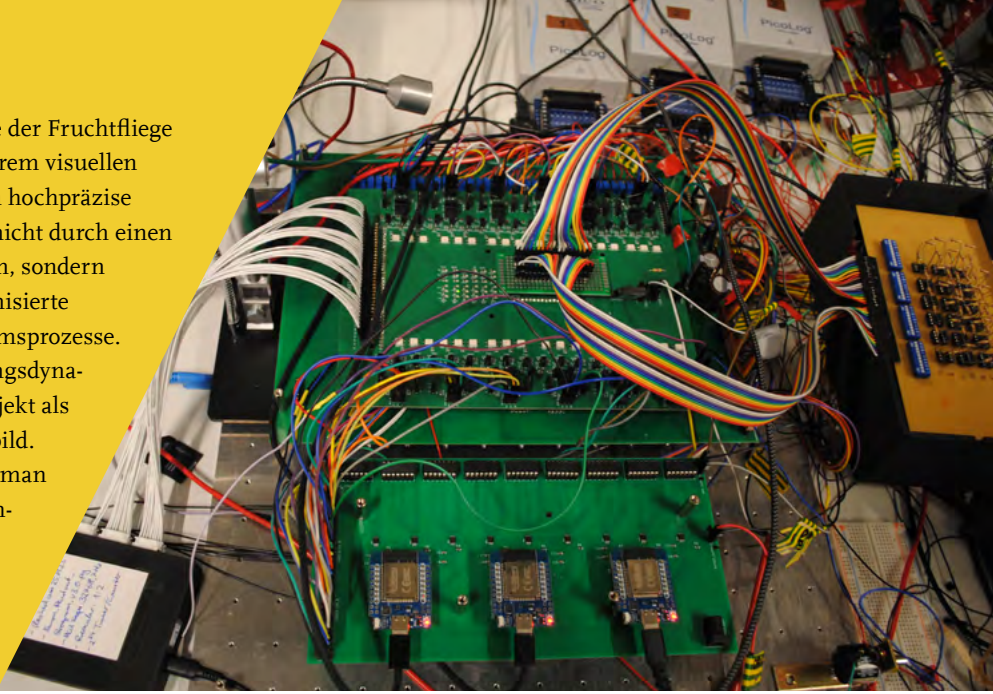
A close-up photograph of a piece of weathered wood. Several bright yellow, fuzzy, mushroom-like fungi are growing on the surface. The fungi have a soft, fibrous texture and are connected by a network of fine, white, web-like threads. The wood is dark brown and shows signs of decay and insect activity, with some holes visible. The lighting is natural, highlighting the vibrant yellow of the fungi against the dark wood.

” ICH GLAUBE,
WIR STEHEN AM
ANFANG EINER
NEUEN KLASSE
INTELLIGENTER
SYSTEME. “

Karlheinz Ochs



Das Facettenauge der Fruchtfliege *Drosophila*: In ihrem visuellen System entstehen hochpräzise Verschaltungen nicht durch einen zentralen Bauplan, sondern durch selbstorganisierte axonale Wachstumsprozesse. Diese Entwicklungsdynamik dient im Projekt als biologisches Vorbild. (Bild: Ayse Kahraman und Robin Hiesinger, Division of Neurobiology, FU Berlin)



Diese Ising-Maschine konstruierten Kieler Materialwissenschaftler gemeinsam mit dem Bochumer Team. (Foto: Hermann Kohlstedt)

die Sehsinneszellen des Auges ohne zentralen Plan mit den Nervenzellen des Gehirns verdrahten. Es geht ihnen nicht um ein Abbild des Facettenauges selbst, sondern um die Dynamik, mit der sich die Verschaltung zwischen Sinneszellen und nachgeschalteten Nervenzellen entwickelt. Diesen Prozess wollen die Forschenden mathematisch beschreiben, elektrisch nachbilden und als digitalen Zwilling emulieren.

„Wenn wir alle diese Beispiele zusammennehmen, sehen wir, dass biologische Systeme nicht nur mit Signalen rechnen, sondern zum Beispiel auch mit Materialzuständen, Rhythmen oder Schwankungen“, sagt Ochs. „Man könnte meinen, dass die Biologie mit ungenauen Bausteinen arbeitet. Das Erstaunliche ist aber, dass daraus hochfunktionale und oft sehr präzise Systeme entstehen. Die Parameterschwankungen, die in der klassischen Elektronik oft als Störung gelten, können in biologischen Systemen funktional sein. Fluktuationen, Variabilität und lokale Ungenauigkeiten helfen dabei, den Lösungsraum zu erkunden. Sie machen Selbstorganisation, Anpassung und das Auffinden günstiger Konfigurationen überhaupt erst möglich.“

Diese Prinzipien möchte sich Karlheinz Ochs' Gruppe zunutze machen. Sie besetzt dabei eine Schnittstelle zwischen Biologie und Materialwissenschaft. „Diese Disziplinen sprechen nicht die gleiche Sprache“, sagt der Bochumer Forscher. „Wir leisten die Übersetzungsarbeit.“

Das Team überführt biologische Prozesse zunächst in mathematische Modelle, oft in Form von Differentialgleichungen. Daraus leiten die Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler gleichwertige elektrische Ersatzschaltungen ab. Mithilfe der sogenannten Wellendigital-Emulation lassen sich diese Schaltungen anschließend als digitale, energetisch konsistente Echtzeitmodelle umsetzen. Es entstehen virtuelle Bauteile, die mit realer Hardware gekoppelt werden können – ein Verfahren, das als Emulation bezeichnet wird.

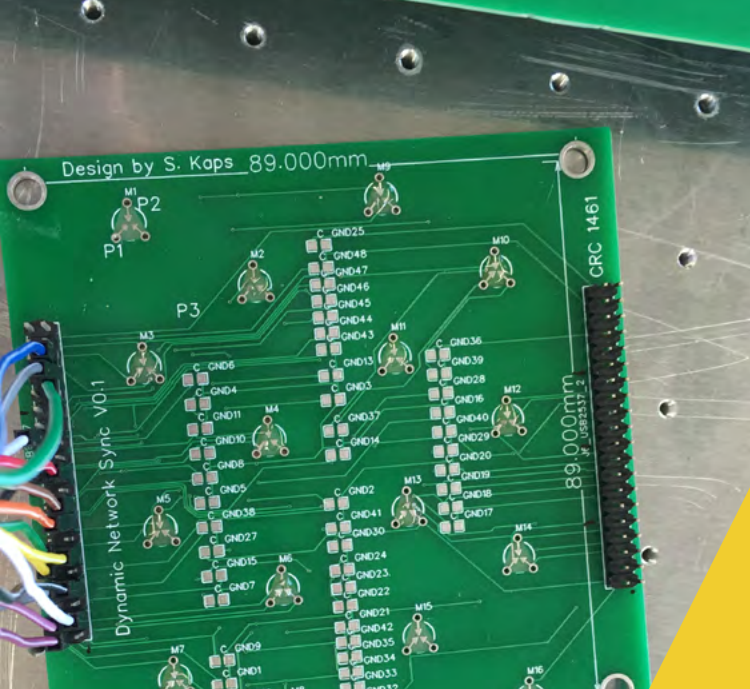
i EMULATION VS. SIMULATION

Eine Simulation berechnet das Verhalten eines Systems numerisch. Eine Emulation geht einen Schritt weiter: Sie ersetzt eine reale Komponente durch ein Modell, das sich gegenüber der übrigen Hardware möglichst so verhält wie das Original. Wellendigital-emulierte Schaltungen können dabei oft in Echtzeit laufen und direkt in größere elektronische Umgebungen eingebunden werden

In der Emulation kann das Team etwa untersuchen, wie sich veränderte Materialparameter oder unterschiedlich starke Kopplungen zwischen Bauteilen auf das Verhalten eines Netzwerks auswirken. Das Ergebnis sehen die Forschenden in Echtzeit. So können sie schnell diverse Parameter durchspielen und vielversprechende Konfigurationen für die erdachte Komponente finden.

Kooperation mit Materialwissenschaft

Manchmal bringt die Emulation besondere Wünsche hervor, zum Beispiel, dass Materialien mit bestimmten Eigenschaften benötigt werden. Im Rahmen des Sonderforschungsbereichs 1461 Neuroelektronik arbeitet Karlheinz Ochs mit Materialwissenschaftler Prof. Dr. Hermann Kohlstedt von der Christian-Albrechts-Universität zu Kiel zusammen. Desse Team entwickelt Werkstoffe, mit denen die von der Natur abgeschauten Prozesse elektrotechnische Realität werden können. Derzeit erweitern die beiden Wissenschaftler gemeinsam eine bereits aufgebaute Ising-Maschine, ein Computersystem, das darauf spezialisiert ist, bestimmte kombinatorische Optimierungsprobleme in die Dynamik eines physikalischen Systems zu übersetzen. Es ersetzt zwar keine



Was hier aussieht wie herkömmliche Elektronik, ist eine grundlegend neue Technologie, deren Rechenprinzipien von der Natur abgesehen sind. (Foto: Hermann Kohlstedt)

Professor Karlheinz Ochs ist Forscher am Lehrstuhl für Digitale Kommunikationssysteme an der Ruhr-Universität Bochum. Er ist fasziniert von den Funktionsmechanismen der Natur. (Foto: privat)

Universalrechner, könnte aber für ausgewählte schwierige Aufgaben energieeffiziente Alternativen bieten.

Eine neue Klasse intelligenter Systeme

Schlüssel zum Erfolg sind sogenannte memristive Materialien – elektronische Bauelemente, deren Leitfähigkeit von ihrer Strom- und Spannungsgeschichte abhängt. Während gewöhnliche elektronische Kopplungen durch feste Widerstände realisiert werden, verwenden Kohlstedt und Ochs Materialien, in denen sich leitende Pfade dynamisch ausbilden können: Verbindungen wachsen, verschwinden und reorganisieren sich abhängig von ihrer bisherigen elektrischen Aktivität. „Nicht wir Ingenieure entwerfen das optimale Netzwerk. Es entsteht selbst“, erklärt Karlheinz Ochs. Solche Elemente lassen sich modellieren, emulieren und in ersten Hardware-Demonstratoren untersuchen.

Dass die memristiven Elemente im Prinzip funktionieren, hat das Bochumer Team bereits gezeigt. Die Forschenden kombinierten sie mit elektronischen Oszillatoren, also Schaltungen, die rhythmische Aktivität erzeugen. Werden viele solcher Oszillatoren gekoppelt, entstehen kollektive Dynamiken wie Synchronisation oder Clusterbildung. Solche Effekte lassen sich in Demonstratoren bereits für Klassifikations- und Optimierungsaufgaben nutzen.

Langfristig geht es Karlheinz Ochs darum, eine neue Art von Hardware zu entwickeln, die er als neuromorph bezeichnet. Darin sollen Rechnen, Speichern und Anpassungsprozesse enger miteinander verbunden sein als in klassischen Computern. Das ermöglicht neue energieeffiziente Rechenarchitekturen, die Informationen lokal verarbeiten. Dadurch ergeben sich auch Vorteile bei der Datensicherheit, weil eine Cloud-Speicherung nicht mehr nötig wäre, und neue Anwendungsfelder, etwa im medizinischen Bereich der Hirnprothesen. „Ich glaube, wir stehen am Anfang einer neuen Klasse intelligenter Systeme“,

meint Ochs. „In zehn Jahren könnten wir eine Technologie zur Verfügung haben, die nicht mehr vollständig programmiert wird – sondern wächst und sich anpasst. Vielleicht sprechen wir dann nicht mehr von künstlicher, sondern von physikalischer Intelligenz.“

„Egal, ob wir von Schleimpilzen, Hydra oder memristiven Materialien sprechen: Es geht letztendlich immer darum, dass Rechnen nicht nur in Programmen stattfindet, sondern auch in Material, Struktur und Dynamik“, resümiert Karlheinz Ochs. Diese Forschung begeistert ihn: „Wenn ein Netzwerk plötzlich ein Muster erkennt, eine optimale Lösung findet oder seine Struktur selbst reorganisiert – ohne dass jemand es explizit dafür programmiert hat – dann merkt man, dass etwas Grundlegendes passiert. Es fühlt sich an wie eine Entdeckungsreise zum natürlichen Ursprung von Intelligenz.“

jwe

i GEMESYS

Einige der im Forschungsumfeld entwickelten Ideen zu neuartigen, vom Gehirn inspirierten Rechnerarchitekturen werden inzwischen auch unternehmerisch weitergedacht. Das Start-up GEMESYS wurde von Doktoranden der Arbeitsgruppe „Digitale Kommunikationssysteme“ der Ruhr-Universität Bochum gegründet. Sie entwickeln eine Computerarchitektur, die vom menschlichen Gehirn inspiriert ist. Das neuartige Chipdesign verspricht eine gesteigerte Rechenleistung bei gleichzeitig geringerem Energieverbrauch im Vergleich zu herkömmlichen Chips. GEMESYS ist eines der erfolgreichsten Start-ups des Worldfactory Start-up Centers der Ruhr-Universität und hat sich bereits in mehreren Wettbewerben durchgesetzt.

Standpunkt

PLAGIATE UND KI: JA, NEIN, VIELLEICHT

Nadine Lordick setzt sich kritisch mit der Nutzung von KI an Hochschulen auseinander. Vor allem die Art und Weise, wie die KI-Unternehmen an Daten kommen, lässt sich ihrer Meinung nach mit dem größten Kunstraub aller Zeiten beschreiben.



Nadine Lordick arbeitet im Projekt KI:edu.nrw und im Schreibzentrum, wo sie sich mit den Themen KI-basierte Schreibtools und Schreibdidaktik beschäftigt. (Foto: km)

Es gibt einen Begriff für KI, der mir gut gefällt, nicht trotz, sondern aufgrund seiner Plakativität: „Plagiarism machine“, also Plagiats-Maschine. Gebraucht wird er, um kritisch über generative KI-Modelle, genauer gesagt Large-Language-Model-Anwendungen (LLM) wie ChatGPT, Gemini und Co. zu sprechen. Er hat zwei Lesarten: Zum einen meint er das Plagiierten mithilfe einer Maschine, zum anderen das Plagiierten als deren Grundlage.

Texte, die durch LLMs generiert werden, sind (in der Regel) keine Plagiate im engeren Sinne, das heißt wortgleich zu einem Ursprungstext, denn es werden keine konkreten Textschnipsel wiederverwendet. Stattdessen werden neue Sätze anhand von Wahrscheinlichkeiten generiert, wodurch es jedoch zu klassischen Plagiaten kommen kann.

Plagiate in Hausarbeiten

Wenn von Plagiaten durch KI im Kontext der Hochschullehre gesprochen wird, ist häufig aber noch etwas anderes gemeint: Dass Studierende Texte als eigene Leistung ausgeben könnten, die nicht die ihren sind. Es geht also um Täuschung. Das Thema treibt Lehrende wie Studierende um, sei es aus der Sorge, illegitime LLM-Nutzung nicht aufdecken zu können oder aus Angst vor falschem Verdacht.

”

DAS IST
ANEIGNUNG
GEISTIGEN
EIGENTUMS IM
GROSSEN STIL.

“

Nadine Lordick

i WIE LARGE LANGUAGE MODELS FUNKTIONIEREN

Anwendungen mit generativer KI wie ChatGPT, Claude oder Gemini basieren derzeit in der Regel auf sogenannten Large Language Models (LLMs). LLMs generieren Texte anhand von Wahrscheinlichkeiten, das bedeutet, für die Textausgabe wird berechnet, welches Wort in einem gegebenen Kontext am wahrscheinlichsten auf ein anderes folgt. Grundlage für die Berechnung dieser Wahrscheinlichkeiten ist einerseits eine große Menge von Texten, anhand derer LLMs trainiert wurden, andererseits flossen auch die Bewertungen von Menschen über den Output ein.

Eines möchte ich direkt klarstellen: Nicht jede Nutzung eines LLMs ist Täuschung – aber LLMs können zum Täuschen genutzt werden. Das ist eine wichtige Differenzierung, weil oft einseitig in die eine oder andere Richtung argumentiert wird. Dabei ist beides möglich, eine Nutzung unter Wahrung der Eigenständigkeit ebenso wie die Nutzung als Ghostwriting-Tool. Bei den Randfällen ist der Fall klar. Rechtschreibkorrektur ist wohl kein Problem, das Kopieren langer LLM-generierter Textteile schon. Aber dazwischen befindet sich ein Graubereich, bei dem es nicht so leicht zu entscheiden ist, was (noch) legitim ist. Um mehr Klarheit zu schaffen, hilft nur eines: Lehrende und Studierende müssen sich überwinden und offen über solche Fälle sprechen, um zu definieren, was Eigenständigkeit eigentlich bedeutet. Das ist nämlich oft gar nicht offensichtlich.

Die dunkle Seite der KI-Unternehmen

Was mich aber viel mehr umtreibt als das Plagiierten von oder mithilfe von LLMs ist die zweite Lesart des Begriffs „plagiarism machine“. Diese bringt etwas auf den Punkt, was die Unternehmen hinter LLMs wie OpenAI, Google, Anthropic und Co. gerne verbergen: Das Training benötigt Unmengen von Daten. Daten heißt: von Menschen geschaffene Werke. Die Texte und Bilder zahlreicher Autoren und Autorinnen sowie Künstler und Künstlerinnen sind in das Training der LLMs eingeflossen, ohne dass diese um Zustimmung gefragt oder bezahlt wurden. Das ist Aneignung geistigen Eigentums im großen Stil – nicht ohne Grund sprechen einige vom größten Kunstraub aller Zeiten. Auch auf solche Hintergründe müssen wir schauen, wenn es darum geht, ob und wofür wir solche Tools an Hochschulen einsetzen wollen.

Nadine Lordick, Zentrum für Wissenschaftsdidaktik

Geschichtswissenschaft

DIE MACHT DER GESCHICHTEN

Über Jahrhunderte prägen Narrative das Selbstverständnis von Nationen. Je nach Bedarf werden sie von der Politik angepasst. Ihrer Wirkmächtigkeit ist kaum beizukommen.

„Wir haben Europa gerettet. Wir sind das Bollwerk des Christentums gegenüber einer Überflutung durch den Islam“ – propagierte die polnische PiS-Partei während der Flüchtlingskrise. „In ihrer Rhetorik hat die rechtskonservative Partei dabei auf einen wirkungsvollen Nationalmythos aus dem 15. Jahrhundert zurückgegriffen, den sogenannten Antemurale-Mythos“, erklärt die Bochumer Historikerin Prof. Dr. Heidi Hein-Kircher. Die Expertin für Ost-Mitteleuropa weiß um die Macht solcher Motive in geschichtspolitischen Aneignungsprozessen: „Gründungsmythen, Heldenmythen, Schlachtenmythen – im Kern funktionieren sie alle ähnlich. Sie werden Teil nationaler Erzählungen, die sich fest im historischen Bewusstsein der Bevölkerung verankern.“ Wie entstehen sie und warum entfalten sie solch eine Wirkung?

„In der Geschichtswissenschaft verstehen wir Nationen als Konstrukte, die durch Diskurse und diskursive Praktiken gebildet werden“, beginnt Hein-Kircher. Interpretationen von historischen Ereignissen, Erzählungen über Persönlichkeiten, religiöse Motive und kirchliche Narrative – sie alle würden dazu dienen, Nationen zu bilden, politische Gebiete, Ansprüche und Ziele zu rechtfertigen. „Viele dieser Erzählungen sind über Jahrhunderte gewachsen, haben sich tief in das kollektive Gedächtnis der Nation eingeschrieben. Je nach gesellschaftlich-politischem Kontext werden sie reaktiviert und umgedeutet“, so die Wissenschaftlerin.

Aktuell ließe sich das etwa in der russischen Rhetorik um den Angriffskrieg gegen die Ukraine beobachten. „Das russische Geschichtsnarrativ greift sehr stark auf die imperial-russländische Interpretation des 19. Jahrhunderts zurück, nach der die Existenz der ukrainischen Nation abgesprochen wurde. So soll die ukrainische Nationsbildung delegitimiert werden“, führt Hein-Kircher aus. Die Historikerin beobachtet, dass solche Narrative besonders in Krisenzeiten von Machthabern hervorgeholt und instrumentalisiert werden. „Seit 2014 geht es der russischen Regierung darum, von ▶





Jan
Alojzy
Matejko
gilt als einer
der bedeutends-
ten Historienmaler
Polens. Sein Ölgemälde
von 1889 zeigt den Sieg
des polnischen Königs Jan
Sobieski vor Wien im Jahr 1683.
Es trug zur Verbreitung des Boll-
werk-Mythos bei. (Bild: gemeinfrei)

” WIR SPRECHEN IN DER FOR- SCHUNG VON EINER SAKRA- LISIERUNG DER GESCHICHTE. “

Heidi Hein-Kircher

innenpolitischen und wirtschaftlichen Krisen abzulenken. Der Zusammenbruch der Sowjetunion und damit der Einflussverlust im östlichen Europa stellen ein nicht bewältigtes Trauma dar, das zu den Aneignungsprozessen beigetragen hat“, so die Historikerin.

Das Geschichtsnarrativ werde dabei als unantastbar dargestellt. „Es wird sozusagen heiliggesprochen. Wir sprechen in der Forschung auch von einer Sakralisierung der Geschichte“, erläutert Hein-Kircher. Gleichzeitig beziehe sich Sakralisierung auch auf den Einfluss der Kirche auf die Geschichtserzählung. „Die orthodoxe Kirche unterstützt und legitimiert die Geschichtspolitik und das Heiligsprechen der russischen Größe.“

In ihrer Forschung hat sich Hein-Kircher zuletzt besonders mit geschichtspolitischen Aneignungsprozessen in Polen, mit nationalen Erzählungen wie dem Antemurale-Mythos und dem darauf aufbauenden polnischen Messianismus befasst. „Der Antemurale-Mythos hat seinen Ursprung

im kirchlichen Kontext des 15./16. Jahrhunderts, also der frühen Neuzeit“, so Hein-Kircher. Wie viele andere osteuropäische Staaten auch, kämpfte Polen zu der Zeit gegen das Osmanische Reich.

Wie ein Mythos sich verbreitet

„Polen sah sich als Mauer oder Schild, als Verteidiger des katholischen Christentums gegen die Bedrohungen aus dem Osten“, erklärt Hein-Kircher. Ihre Forschung zeigt, dass ebendieses Motiv dann in der polnischen Romantik erneut aufgegriffen wird. „Im 18. und 19. Jahrhundert, insbesondere nach den Teilungen Polens, wurde der Mythos wiederbelebt“, erzählt Hein-Kircher. „Das Land war zu der Zeit zu sehr in die damaligen imperialen Kontexte – die Reiche in Russland, Deutschland, die Habsburger Monarchie – verhaftet und hatte keine Chance, einen eigenen Nationalstaat zu bilden“, weiß Hein-Kircher. Als Folge entstanden verschiedene Interpretationen, um Polens Teilung zu begründen und zu rechtfertigen.

Besonders dominant ist die Lesart des Dichters Adam Mickiewicz. „Mickiewicz interpretiert die Teilung als Opfer Polens. Polen wird als Christus der Völker dargestellt. Das Land habe sich für die Völker geopfert“, so die Forscherin. In der Teilungszeit erwächst aus diesem Narrativ – heute bekannt als polnischer Messianismus – ein Nationalmythos, der dann durch verschiedene Akteure im 19. Jahrhundert weiterentwickelt und verbreitet wird. „Er taucht in der Belletristik genauso auf wie in historischen Büchern, in Schulbüchern und sogar in Reiseführern“, hat Hein-Kircher herausgefunden.

„Das Spannende ist, dass dieses Narrativ immer wieder auftaucht: nach 1918, als Polen die Rote Armee abwehrte, im Zweiten Weltkrieg, und dann im Rahmen der europäischen Flüchtlingskrise ab 2015“, so die Historikerin. „Wir sind wieder die Front und opfern uns letztlich für Europa“ – so äußerte sich die PiS-Regierung damals. „Kleine Anspielungen genügen, um die Erzählung zu reaktivieren, sie umzudeuten, sie für politische Ziele einzusetzen“, fasst Hein-Kircher die langanhaltende Wirkungsmacht des Mythos zusammen.

Vor allem mit Blick auf die vergangenen 25 Jahre beobachtet die Historikerin, wie Religion in Polen zunehmend politisiert wird. „Die nationalkonservativen Kräfte nutzen religiöse Motive, um die eigene politische Führungsmacht durchzusetzen“, so Hein-Kircher. Zum Beispiel würde die PiS-Partei sich ganz deutlich als Bewahrerin der christlichen Familienbilder und -werte inszenieren – etwa im katholischen Radio Maria. „Man versucht, die Kirche als Partner mit ins Boot zu holen, die, nach wie vor, eine große Anhängerschaft, insbesondere auf dem Land, genießt und derer man sich eben versichern will.“

Der Bollwerk-Mythos hat sich nicht nur in Polen über die Jahrhunderte gefestigt und weiterentwickelt; auch andere Länder haben sich das Motiv zu eigen gemacht. „Wir finden ähnliche Narrative in Ländern wie Ungarn oder in den USA, die damit den Bau ihrer Grenzzäune legitimieren. Je nach gesellschaftlich-politischem Kontext wird die Erzählung angepasst“, erklärt Heidi Hein-Kircher.

i DER BEGRIFF „ANTEMURALE“

Der Begriff „Antemurale“ stammt aus dem Lateinischen und bedeutet „Bollwerk“ oder „Schutzwall“. „Antemurale Christianitatis“ übersetzt sich dann in Bollwerk der Christenheit und bezieht sich auf den „abendländischen“, römisch-katholisch geprägten Kulturraum.



Die Historikerin Heidi Hein-Kircher hat an der Ruhr-Universität Bochum die Professur für deutsche Kultur und Geschichte im östlichen Europa inne. Zudem ist sie Direktorin der Martin-Opitz-Bibliothek in Herne, einem An-Institut der Ruhr-Uni.
(Foto: Michael Schwettmann)



Ungarn hat 2015 als Reaktion auf die Flüchtlingsströme einen Zaun an der Grenze zu Serbien aufgestellt. Auch dieser wird rhetorisch mit einem Rückgriff auf den „Bollwerk-Mythos“ gerechtfertigt.
(Foto: Bőr Benedek, CC BY 2.0, <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=43589769>)

Und auch die Aneignung oder Politisierung von religiösen Motiven, von traditionellen Familienwerten ist weltweit zu beobachten: „Veränderte Familienmodelle und Geschlechterrollen werden als Angriff auf die traditionelle Kernfamilie, und damit die kleinste Einheit der Nation, gewertet, und die gilt es zu verteidigen. Hier werden Familie und Nation verknüpft“, erläutert Hein-Kircher. Das Motiv finde man überall. „Denken wir an Fico in der Slowakei, der gezielt auf katholische Werte anspielt. Oder die Republikaner in den USA, die sich mit den Evangelikalen verbünden.“

Mythen dekonstruieren

Was kann man den wirkmächtigen Erzählungen entgegensetzen? „Die Wirkmächtigkeit der Mythen liegt ja darin, dass sie tief in der breiten Bevölkerung, im Bildungssystem, etwa

in Schulbüchern, verankert sind. Das macht sie so resilient gegenüber anderen Interpretationen der Geschichte und ihre Dekonstruktion schwierig“, so Hein-Kircher. Als Forscherin könne sie dazu beitragen, die Narrative in Belletristik oder Malerei zu identifizieren und analytisch zu hinterfragen, aber das ändere nichts an deren Einfluss.

„Diese Machtlosigkeit ist frustrierend.“ Darum ist es der Historikerin eine Herzensangelegenheit, ihre Forschungserkenntnisse auch für die Lehre aufzubereiten, ihre Studierenden, viele davon angehende Lehrkräfte, für Narrative und deren Mechanismen zu sensibilisieren: „Mir ist es wichtig, dass der Umgang mit Texten und Analysen auch dazu beiträgt, dass sie ihre eigenen Standpunkte, Prämissen, ihr Selbstverständnis selbstkritisch hinterfragen.“

*Empirische
Wirtschaftsforschung*

GESCHÄTZTE **ZwILLI^NGE**



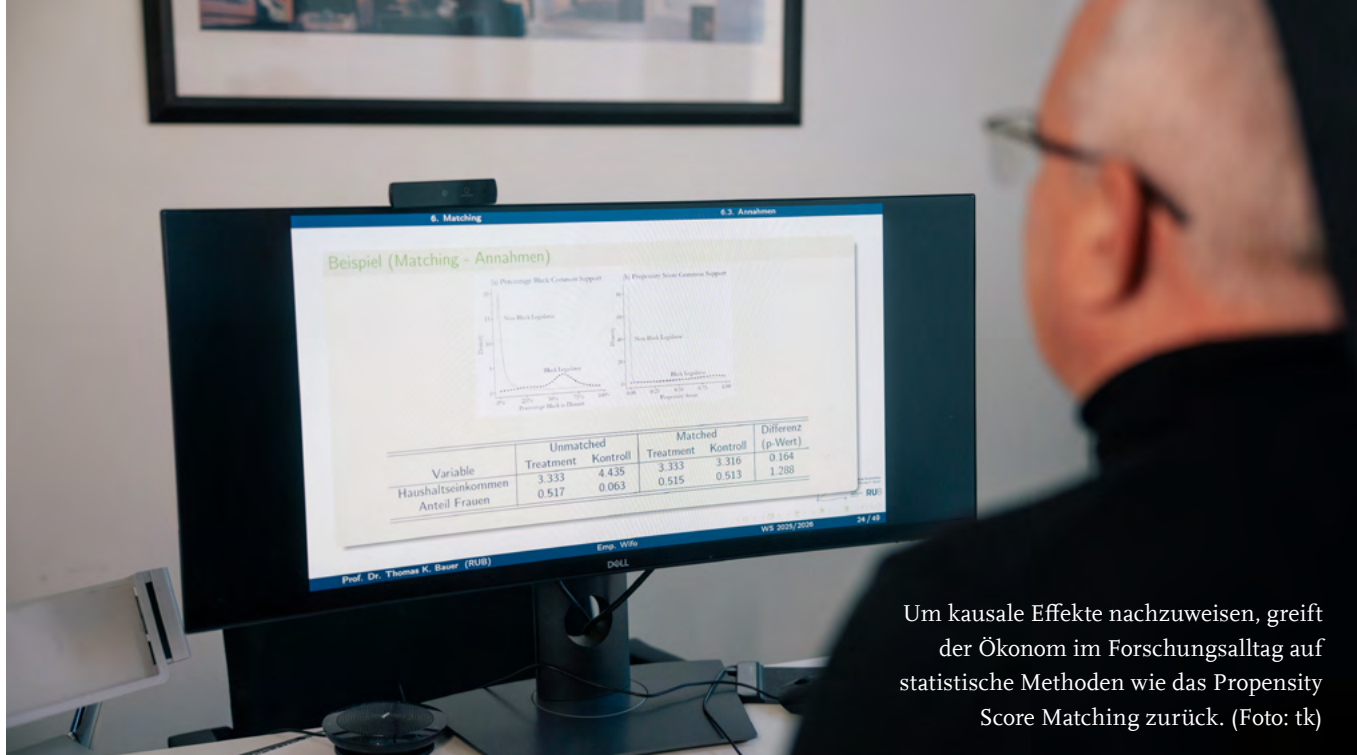
*Der Zusammenhang zwischen
Ursache und Wirkung
ist nicht immer einfach zu messen.
Forschende nutzen vermehrt KI,
um klarer zu sehen.*

Steigert eine Weiterbildungsmaßnahme die Beschäftigungsaussichten eines Arbeitslosen? Führt die Erhöhung des Mindestlohns zu Beschäftigungsverlusten? Wie wirkt sich der Wehrdienst auf den späteren Lohn aus? Antworten auf diese Fragen zu kausalen Zusammenhängen auf dem Arbeitsmarkt suchen Ökonomen wie Prof. Dr. Thomas Bauer vom Lehrstuhl für empirische Wirtschaftsforschung der Ruhr-Universität Bochum.

„In den vergangenen 20 Jahren haben wir enorme Fortschritte in der Erforschung kausaler Effekte erzielt. Diese führten zu der sogenannten Glaubwürdigkeitsrevolution in der empirischen Wirtschaftsforschung. Etwa 30 Prozent aller Publikationen in der Volkswirtschaftslehre enthalten heute Kausalanalysen“, weiß Bauer. Insbesondere die Idee, sogenannte natürliche Experimente zu verwenden, für die es 2021 den Nobelpreis gab, führte dazu, dass neue Methoden entwickelt wurden, um kausale Effekte zu identifizieren. Eine dieser Methoden ist das Propensity Score Matching. Dazu werden sogenannte statistische Zwillinge, also aus Daten erzeugte, geklonte Kontrollgruppen eingesetzt. „Wir klaufen sozusagen Infos aus anderen Informationsquellen, um möglichst verlässliche Vergleichsgruppen zu konstruieren“, so Thomas Bauer. „Neue Methoden des Machine Learnings werden dieses Verfahren noch stark verbessern können“, ist sich der Ökonom sicher.

Doch warum ist es überhaupt so schwierig, Zusammenhänge zwischen Ursache und Wirkung nachzuweisen? „Stellen wir uns vor, wir würden den Auftrag vom Bundesarbeitsministerium bekommen, zu bewerten, wie wirksam eine Weiterbildungsmaßnahme für Arbeitslose ist“, beginnt Bauer. In dem Szenario liegen den Forschenden Daten vor, aus denen hervorgeht, wer an der Maßnahme teilgenommen hat und wer davon wieder eine Beschäftigung gefunden hat. „Das sagt mir aber noch lange nichts über den kausalen Effekt der Weiterbildungsmaßnahme auf die Wiederbeschäftigungswahrscheinlichkeit, weil ich nicht weiß, wie hoch die Wiederbeschäftigungswahrscheinlichkeit derselben Person gewesen wäre, wenn sie nicht an der Maßnahme teilgenommen hätte“, erklärt Bauer das Problem. Um den kausalen Effekt identifizieren zu können, müsse man diese grundsätzlich unbeobachtbare kontrafaktische Situation konstruieren. „Man muss also eine Situation konstruieren, in der für Teilnehmer und Nicht-Teilnehmer bis auf den Maßnahmenbesuch alles gleich ist.“ Das sei aber nahezu unmöglich, weil nicht alle Informationen vorliegen, etwa darüber, wie motiviert ein Arbeitssuchender ist.

Zwillingstudien: Um verlässliche Vergleichsgruppen zu konstruieren, greift man in der Statistik tief in die Trickkiste und tut so, als hätte man zu jedem Menschen auf Erden einen Zwilling. So lassen sich kausale Effekte nachweisen. (Foto: Adobe Stock, Halfpoint)



Um kausale Effekte nachzuweisen, greift der Ökonom im Forschungsalltag auf statistische Methoden wie das Propensity Score Matching zurück. (Foto: tk)

Viel einfacher gestaltet sich die Kausalanalyse, wenn man, wie bei einem kontrolliertem Laborexperiment, keine Störfaktoren oder unbekannt Variablen vorliegen hat. Da derartige Laborexperimente in den Sozialwissenschaften aber häufig nicht durchgeführt werden können, greift man auf natürliche Experimente zurück. Einer der Nobelpreisträger von 2021, David Card, machte sich diese Methodik erstmals 1992 zunutze, als er Mindestlohneffekte untersuchte. Reisen wir also zurück in das Jahr der Studie. „Damals war man sich in der volkswirtschaftlichen Literatur einig, dass eine Erhöhung des Mindestlohns immer zu Beschäftigungsverlusten führen würde“, berichtet Bauer. Das Ergebnis der berühmten Studie von Card und Krueger brach mit dieser Meinung.

Nobelpreiswürdige Studie

Die beiden Ökonomen hatten die Wirkung der Mindestlohn-erhöhung in New Jersey auf die Beschäftigungsentwicklung von Mitarbeitenden in Fastfood-Restaurants untersucht und diese mit der Beschäftigungsentwicklung von Mitarbeitenden in Fastfood-Restaurants im benachbarten Pennsylvania verglichen, in der es keine Veränderung des Mindestlohns gab. „New Jersey und Pennsylvania sind, was ihre Wirtschaftsstruktur betrifft, nahezu identisch. Pennsylvania fun- gierte als Kontrollgruppe, die nicht betroffen war“, so Bauer. Warum wurden Mitarbeitende von Fastfood-Ketten befragt? „Fastfood-Ketten weisen eine hohe Beschäftigungsfluktuation auf; hier werden häufig niedrige Löhne gezahlt und man nahm an, dass die Mitarbeitenden dort besonders von einer Erhöhung betroffen wären“, erklärt Bauer.

Die Forschenden verglichen die Differenz der Beschäftigungsentwicklung in beiden Staaten vor und nach der Erhöhung. Das Ergebnis: Die Erhöhung des Mindestlohns in New Jersey führte nicht, wie erwartet, zu einem Beschäftigungsrückgang. Die höheren Kosten wurden auf die Konsumenten der Fastfood-Ketten abgewälzt. „Wir sprechen von einem natürlichen Experiment, weil die Teilnehmenden nicht wuss-

ten, dass sie Teil eines Experiments waren und die Forschenden das Experiment nicht weiter kontrollieren konnten. Es wurde allein durch eine externe Variable, in diesem Fall eine Politikentscheidung, ausgelöst und generierte eine gute Kontrollgruppe“, erklärt Bauer.

Der Bochumer Ökonom verwendet die Methodik des natürlichen Experiments in vielen Studien. So ging er 2012 mit Kollegen der Frage nach, ob es einen kausalen Zusammenhang zwischen Wehrdienst und Lohn gibt. Verdient jemand, der Wehrdienst leistet, später mehr Geld? Bauer untersuchte dazu, wie sich die Einführung der Wehrpflicht 1956 auf den Lohn ausgewirkt hatte. Männer, die am 1. Juli 1937 und danach in Deutschland geboren wurden, galten danach als wehrpflichtig; nicht-wehrpflichtig waren alle, die vor dem Stichtag geboren wurden – die sogenannte weiße Kohorte. Durch das Gesetz entstanden zwei zufällig ausgewählte, natürliche Gruppen an Männern, die sich nur dadurch unterschieden, dass eine Gruppe zum Wehrdienst eingezogen werden konnte. Ein Vergleich dieser beiden Gruppen lieferte dem Forschungsteam den kausalen Lohnneffekt. Was dabei heraus kam? In der Tat fanden die Forschenden keine nennenswerten Lohnunterschiede zwischen den zwei Gruppen.

Wie geht man aber nun vor, wenn man eine solche Kontrollgruppe, wie sie durch natürliche Experimente generiert wird, nicht vorliegen hat? Kommen wir zurück zum Eingangsproblem: Welchen Effekt hat eine bestimmte Weiterbildungsmaßnahme auf die Wiederbeschäftigung? Wie generiere ich mir eine Vergleichsgruppe, wenn keine Zufallszuweisung möglich ist? Oder ganz konkret: Wie finde ich den Zwilling zu einem arbeitslosen Industrieschlossler mit 20 Jahren Berufserfahrung, der in der Vergangenheit bereits zwei Mal ein Jahr lang arbeitslos war, stets offen für Beratungen ist und motiviert an Weiterbildungsmaßnahmen teilnimmt? „Die Wahrscheinlichkeit, dass wir jemanden mit diesen Merkmalen finden, ist gleich null. Darum generieren wir einen statistischen Zwilling“, so Thomas Bauer.

Thomas Bauer hat
an der Fakultät für
Wirtschaftswissenschaft
den Lehrstuhl für
Empirische
Wirtschaftsforschung
inne. (Foto: tk)



”
WIR KLAUEN SO-
ZUSAGEN INFOS
AUS ANDEREN
INFORMATIONEN-
QUELLEN, UM
MÖGLICHST
VERLÄSSLICHE
VERGLEICHS-
GRUPPEN ZU
KONSTRUIEREN.
“

Thomas Bauer

Die statistische Methode nennt sich Propensity Score Matching. „Wir tragen zunächst alle beobachtbaren Merkmale über eine Person, etwa den beschriebenen Industrieschlossler, zusammen.“ Dazu greifen die Forschenden zum Beispiel auf Daten des Arbeitsamtes zurück. „Und dann treffen wir basierend darauf eine Vorhersage darüber, mit welcher Wahrscheinlichkeit, mit welchem Propensity Score, besagter Industrieschlossler an einer Weiterbildungsmaßnahme teilnimmt. Sagen wir, zu 60 Prozent.“ Diese Vorhersage sei heute besonders gut mit Maschine-Learning-Algorithmen zu schätzen.

Genetische Zwillingsstudien

„Am Ende teilen wir dem Industrieschlossler einen nahezu identischen statistischen Zwilling zu – zum Beispiel einen gleichaltrigen Industrieschlossler mit ähnlichem Werdegang – dessen Propensity Score ebenfalls 60 Prozent beträgt. Der einzige Unterschied: Er nimmt nicht an der Maßnahme teil.“ Ein späterer Vergleich der Beschäftigungszahlen von diesem Zwillingspaar und weiteren Matches zeigt, ob die Weiterbildungsmaßnahme einen direkten Einfluss darauf hatte. „Mit dieser Methode minimieren wir Verzerrungen bei der Schätzung des kausalen Effekts“, schließt Bauer.

Apropos Zwillinge: Zu den ersten Studien in der empirischen Wirtschaftsforschung, die ein natürliches Experiment verwenden, zählen die sogenannte Zwillingsstudien aus den 1990er-Jahren. Um dem kausalen Zusammenhang zwischen Schulausbildung und Einkommen auf die Schliche zu kommen, befragte man eineiige Zwillinge. Der Vorteil gegenüber Vorgängerstudien: Durch den Vergleich der Zwillinge konnten unbeobachtbare Variablen, wie angeborene Intelligenz oder Elternhaus, nicht zu Verzerrungen führen. 30 Jahre später gelingt es Forschenden, mit einem Griff in die statistische Trickkiste so zu tun, als hätte man zu jedem Menschen auf Erden einen Zwilling.

Der Begriff „planetarische Nebel“ ist irreführend, er ist historisch bedingt. Heute weiß man, dass die Nebel mit Planeten nichts zu tun haben. Es handelt sich um Hüllen aus Gas und Plasma, die von Sternen abgestoßen wurden. (Aufnahme: NASA, ESA, and the Hubble SM4 ERO Team)

” STERNE
VERLIEREN IHR
GANZES LEBEN
LANG IMMER
MATERIE. “

Kerstin Weis

DIE NEBEL DER STERNE LÜFTEN

*In Doppelsternsystemen geht es auf Dauer selten friedlich zu.
Irgendwann fängt ein Stern an, dem anderen Materie zu
klauen. Am Ende steht oft eine große Zerstörung.
Und ein farbenprächtiger Nebel.*

Das Hubble-Weltraumteleskop verwöhnt unsere Augen immer wieder mit hochauflösenden Bildern aus dem All. Wohl kaum jemand kann sich der Faszination von Aufnahmen entziehen, auf denen farbenreiche Schleier über sternklare Himmel tanzen. Auch Kerstin Weis und Dominik Bomans nicht. Die beiden forschen am Astronomischen Institut der Ruhr-Universität Bochum und betrachten die Gebilde nicht nur aus ästhetischen Gründen gern. In ihrer Arbeit entschlüsseln sie die physikalischen Prozesse, die zur Bildung der Nebel führen. Gerade in Doppelsternsystemen finden sie interessante Effekte, wenn ein Stern dem anderen Materie klaut.

Doppelsterne umkreisen sich gegenseitig, sind aber selten gleich groß. Das hat Konsequenzen für ihre Entwicklung. Denn: „Je massereicher ein Stern ist, desto schneller altert er“, sagt Prof. Dr. Dominik Bomans. Im Alter blähen sich Sterne zu sogenannten Roten Riesen auf. In Doppelsternsystemen können sie dadurch in das Gravitationsfeld ihres Begleitsterns geraten, sodass Materie vom Roten Riesen auf den Partner überfließen kann, was in der Regel in einer großen Helligkeitsexplosion endet, einer Nova.

Novae können verschiedene Entstehungsgeschichten haben, die Bomans und Weis im Detail ergründen. Aus spektroskopischen Aufnahmen und den Strukturen der Nebel rekonstruieren sie mithilfe physikalischer Modelle den Ablauf der Helligkeitsexplosionen. „Uns interessiert vor allem, wie viel Energie und Materie bei einer Nova weggeblasen werden“, so Bomans.

Die Forschenden betrachten Doppelsternsysteme aus einem Weißen Zwerg und einem Roten Riesen, in denen sich unterschiedliche Arten von Novae ereignen können. Lange Zeit umkreisen sich die Sterne, ohne dass

Materie zwischen ihnen ausgetauscht wird, weil sie weit genug voneinander entfernt sind. Diese friedliche Koexistenz hält aber nur so lange, wie die Sterne sich nicht über den sogenannten Lagrange-Punkt ausdehnen. An diesem Punkt zwischen den Sternen ist der Schwerkräfteinfluss von beiden Partnern gleich groß. „Alles, was sich dort befindet, wird weder geschubst noch gezogen“, veranschaulicht Privatdozentin Dr. Kerstin Weis. „Es bleibt einfach, wo es ist.“

i WEISSER ZWERG UND ROTER RIESE

Wenn Sternen am Ende ihres Lebens ihr Brennstoff ausgeht und sie abkühlen, blähen sie sich auf. Dieses Stadium wird als Roter Riese bezeichnet. Was danach passiert, hängt von der Masse des Sterns ab. Massearme Sterne enden als Weiße Zwerge, die nur noch aus einem dichten Kern mit wenig Leuchtkraft bestehen. Massereiche Sterne hingegen explodieren und werden zu einem Schwarzen Loch oder einem Neutronenstern.

Bläht sich der Rote Riese über den Lagrange-Punkt hinaus auf, gerät er in das Gravitationsfeld seines Begleitsterns, und Materie vom Roten Riesen fließt auf den Weißen Zwerg über. Weil das System einen Drehimpuls hat, fällt diese Materie nicht einfach in den Weißen Zwerg hinein, sondern bildet eine Scheibe um ihn herum – Akkretionsscheibe genannt. In dieser driftet das Material langsam zur Oberfläche des Weißen Zwergs. So ▶



Das Ehepaar Kerstin Weis und Dominik Bomans forscht am Astronomischen Institut der Ruhr-Universität Bochum (Foto: tk)

kann der kleine Stern, der eigentlich keinen Brennstoff mehr zum Leuchten hat, auf Dauer genug Material ansammeln, um noch einmal zu zünden. „Es ist aber eigentlich nicht der Stern selbst, der aufleuchtet“, erklärt Kerstin Weis den Mechanismus. „Der Helligkeitsausbruch des Weißen Zwergs, also die Nova, kommt durch eine Wasserstoff-Fusion auf der Oberfläche des Sterns, nicht in seinem Inneren zustande.“

Weis und Bomans schauten sich beispielsweise die Nova Persei aus dem Jahr 1901 genauer an. Innerhalb weniger Tage wurde das Himmelsobjekt um rund 4,5 Größenordnungen heller. Die Berechnungen der Bochumer Forschenden zeigten, dass durch die Wasserstoff-Fusion auf der Oberfläche des Weißen Zwergs Material mit einer Geschwindigkeit von 1.000 bis 2.000 Kilometern pro Sekunde ins All geschleudert wurde.

Wiederkehrende Novae und Sterne mit Schluckauf

Für ein weiteres Objekt, die Nova Cygni, zeigten die Astronomin und der Astronom, dass der Rote Riese pro Jahr 10^{-8} Sonnenmassen an seinen Begleitstern verliert; er gibt also 0,00000001-mal so viel Masse ab, wie die Sonne besitzt. Bis es zur Nova kommt, dauert es daher viele Jahre: Denn erst wenn ein Tausendstel Sonnenmasse auf den Weißen Zwerg übergegangen ist, ist auf dessen Oberfläche so viel Wasserstoff zusammengekommen, dass die Nova zünden kann.

„ 10^{-4} Sonnenmassen sind nicht viel“, ordnet Kerstin Weis ein. „Wenn dieses Material verbrannt ist, ist erst mal Ruhe – aber dann kann sich der Prozess wiederholen.“ Solche wiederkehrenden Novae wollen sich Bomans und Weis künftig genauer ansehen. Sie interessiert beispielsweise, wie häufig sich Novae in einem Doppelsternsystem wiederholen könnten.

Andere Phänomene sind bereits besser verstanden, beispielsweise die symbiotischen Novae, die entstehen, obwohl der Rote Riese sich nicht bis zum Lagrange-Punkt ausdehnt. „Sterne verlieren ihr ganzes Leben lang immer Materie“, erzählt Kerstin Weis. „Sie nehmen also ständig ab.“ Das flüchtige Material wird als Sternwind bezeichnet. Wie der Name

Wind vermuten lässt, hat der Sternwind eine gewisse Geschwindigkeit, sodass er über den Lagrange-Punkt hinausgetragen werden kann. Auf diese Weise kann der Weiße Zwerg Materie von seinem Begleitstern klauen, obwohl sich der Rote Riese selbst gar nicht im Einflussbereich von dessen Schwerkraft befindet. Wird die Materie nur indirekt über den Sternwind von einem Stern zum anderen transportiert, fließt deutlich weniger Material vom Roten Riesen zum Weißen Zwerg, sodass es länger dauert, bis die Nova zünden kann.

Der Ausbruch einer Nova oder einer symbiotischen Nova dauert nur einige Tage oder Wochen. Deutlich länger, wenn auch nicht so hell, können sogenannte Zwergnovae erscheinen. Bei ihnen kommt es mehrfach hintereinander zu einem spontanen Helligkeitsanstieg um zwei bis sechs Größenordnungen. Bomans und Weis zeigten, dass der Massenverlust mit 10^{-9} bis 10^{-8} Sonnenmassen insgesamt deutlich kleiner als bei den oben beschriebenen Phänomenen ist. „Auch der Mechanismus ist ein ganz anderer“, sagt Dominik Bomans. „Der Rote Riese gibt nicht kontinuierlich gleich viel an den Weißen Zwerg ab. Manchmal liefert er mehr Material, als der Begleiter aufnehmen kann. Er transportiert es daher nach oben und wirft es von sich“, so Bomans. „Das führt zu einem Helligkeitsausbruch, ohne dass etwas auf dem Stern brennt“, ergänzt Kerstin Weis. „Es ist ein bisschen, als wenn der Stern Schluckauf hätte.“

Diese und weitere Nova-Arten und ihre Nebel wollen Dominik Bomans und Kerstin Weis künftig noch genauer untersuchen. Dabei kommt ihnen entgegen, dass derzeit mehrere große Himmelsdurchmusterungen laufen, die über lange Zeiträume immer wieder Aufnahmen von einem bestimmten Bereich des Alls machen. Veränderliche Objekte, die nur kurz aufleuchten und dann wieder verschwinden, lassen sich in solch umfangreichen Datensätzen besonders gut finden. Es ist daher nur eine Frage der Zeit, bis Bomans und Weis neue spannende Nebel aufgetan haben, denen sie das Geheimnis ihrer Entstehung entlocken können.



Sterne verlieren beständig an Materie, die durch den sogenannten Sternwind davongetragen wird. Im Bubble-Nebel zeigt sich der Effekt in einer blasenförmigen Struktur. (Aufnahme: NASA, ESA, Hubble Heritage Team)

R Aquarii ist ein Doppelsternsystem im Sternbild Aquarii. Die beiden Nebelringe, die die Sterne umgeben, sind die Überreste von Novae, die sich in den Jahren 1073 und 1773 ereigneten. Solche wiederkehrenden Novae wollen die Bochumer Forschenden künftig genauer untersuchen. (Aufnahme: NASA, ESA, M. Stute, M. Karovska, D. de Martin & M. Zamani (ESA/Hubble))

Im Gespräch

AUF GUTE ZUSAMMENARBEIT MIT KOLLEGIN KI

*Nimmt uns KI die Arbeit weg?
Nicht unbedingt. Es kommt darauf, wie
wir ihren Einsatz arbeitspolitisch gestalten,
meint Manfred Wannöffel.*

Macht mich die KI demnächst in meinem Job überflüssig? Diese Sorge treibt nicht wenige Arbeitnehmer*innen um. Denn die Einsatzmöglichkeiten von KI entwickeln sich rasant, und wer sie nicht nutzt, droht im Wettbewerb abgehängt zu werden. Wie lässt sich KI in Betrieben und Verwaltungen so einsetzen, dass sie ihren Nutzen voll entfaltet, aber nicht auf Kosten der Mitarbeitenden? Wie können KI-Systeme so gestaltet werden, dass Akzeptanz und Vertrauen gegenüber der neuen Technik entstehen können?

Mit diesen Fragen befassen sich Forschende im Kompetenzzentrum humane, dem Transfer-Hub für die humanzentrierte Arbeit mit KI an der Ruhr-Universität Bochum. Prof. Dr. Manfred Wannöffel, ehemaliger Geschäftsführer der Gemeinsamen Arbeitsstelle RUB/IG Metall und Seniorprofessor an der Ruhr-Universität Bochum, widmete sich mit seinem Team der Einführung von KI in Betrieben in einem Teilprojekt gemeinsam mit Geschäftsführungen und Betriebsräten zahlreicher regionaler Unternehmen.

Herr Wannöffel, warum sollte der Einsatz von KI in Betrieben reguliert werden?

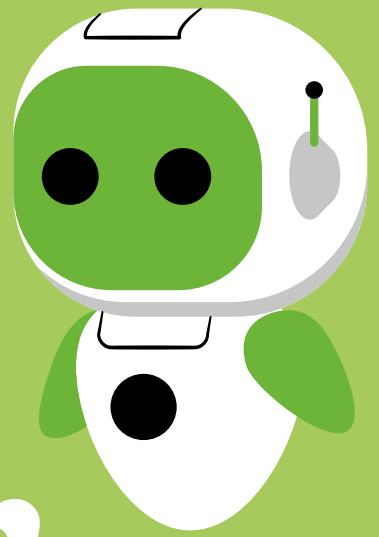
Künstliche Intelligenz ist zu einem zentralen Begriff in der gegenwärtigen Debatte um die Zukunft der Arbeit geworden. Der entscheidende Unterschied zu vorherigen Digitalisierungsprozessen liegt in der Art, wie das Verhalten des KI-Systems zustande kommt. In vorherigen Prozessen wurde das durch explizite Programmierung festgelegt: Entwickler schreiben Regeln, die das System Schritt für Schritt abarbeitet. Das Ergebnis war vergleichsweise nachvollziehbar.

Bei KI-Systemen hingegen werden die Verhaltensregeln nicht programmiert, sondern durch das System selbst aus riesigen Datenmengen abgeleitet. Das System erkennt Muster und kann daraus eigenständig Entscheidungsoptionen entwickeln. Generative KI-Systeme wie ChatGPT können auch bei gleicher Eingabe zu unterschiedlichen Ergebnissen gelangen, die damit nur eingeschränkt reproduzierbar sind. Jedoch dürfen wir nicht vergessen, diese Verfahren basieren immer auf spezifischen Zielsetzungen und Interessen bei einer dementsprechenden Datenauswahl, die immer vom Menschen festgelegt werden.

Für Beschäftigte und ihre Interessenvertretungen stellen diese Charakteristika von KI, wie Autonomie und die Fähigkeit, eigenständige Entscheidungen zu treffen, im Arbeitskontext erhebliche Herausforderungen dar. Wenn KI-Systeme in Unternehmen weitgehend unreguliert eingesetzt werden, kann dies zu Arbeitsplatzverlusten und zu einer zusätzlichen Unsicherheit sowie zur Belastung für die Beschäftigten führen.

Wie kann man eine solche Regulierung umsetzen?

Dazu muss die Perspektive der Arbeitnehmer*innen mit einbezogen werden. Das geht über ihre Interessenvertretungen. Hierfür gibt es mit Betriebs- und Personalräten bereits etablierte Institutionen, die die Perspektive der Beschäftigten in betriebliche Entscheidungsprozesse einbringen und über gesetzlich verankerte Mitbestimmungsrechte bei der Einführung neuer Technologien verfügen: In jedem Unternehmen mit mehr als fünf Mitarbeitenden ist es möglich, einen Be-



AUTONOMIE UND DIE FÄHIGKEIT, EIGENSTÄNDIGE ENTSCHEIDUNGEN ZU TREFFEN, STELLEN IM ARBEITSKONTEXT ERHEBLICHE HERAUSFORDE- RUNGEN DAR.



Manfred
Wannöffel

etriebsrat zu gründen, die öffentlichen Verwaltungen verfügen über entsprechende Personalvertretungsgesetze. Immer wenn neue Technologien das Potenzial aufweisen, das Leistungsverhalten der Beschäftigten zu kontrollieren, sind diese Gremien einzubeziehen.

Diese besonderen bundesdeutschen Regelungen werden seit August 2024 durch den AI Act der Europäischen Union noch einmal maßgeblich gestärkt. Vorgesehen sind verpflichtende Qualifizierungen der Belegschaften bereits vor dem Einsatz von KI. Und vor allem, dass bei der Nutzung von KI während eines Arbeitsvorganges die letzte Entscheidung immer durch eine Mitarbeiterin beziehungsweise einen Mitarbeiter getroffen werden muss. Das ist weltweit betrachtet eine absolute Besonderheit, insbesondere wenn man nach China oder in die USA blickt. Der EU AI Act ist das erste umfassende KI-Gesetz weltweit.

Muss man nicht befürchten, dass man im weltweiten Wettbewerb abgehängt wird, wenn man sich auf solche Richtlinien beruft?

Das ist in der Tat die große Herausforderung in einer Welt im tiefen Umbruch, der auch als Polykrise bezeichnet wird. Am Ende stehen die demokratischen Errungenschaften von Mitbestimmung am Arbeitsplatz immer vor dem Nadelöhr der Wirtschaftlichkeit und der globalen Wettbewerbsfähigkeit. Seit nunmehr 30 Jahren können wir beobachten, dass viele Unternehmen tarifvertragliche Regelungen und den Betriebsrat eher als Einschränkung ihrer Handlungsmöglichkeiten sehen und versuchen, sich davon zu befreien.

i HUMAINE

Das Kompetenzzentrum humAlne wird von 2021 bis Herbst 2026 vom Bundesministerin für Forschung, Technologie und Raumfahrt gefördert. Im Jahr 2024 wurde bereits der Verein humAlne e.V. mit Forschungseinrichtungen der Ruhr-Universität Bochum und Unternehmen gegründet, der die Arbeit nach der öffentlichen Förderung fortführen wird.

→ humaine.info

”

DIE FORSCHUNG
ZEIGT AUF, DASS
QUALIFIZIERTE
BETRIEBSRÄTE EINE
BEREICHERUNG FÜR
EIN UNTERNEHMEN
DARSTELLEN.

“

Manfred
Wannöffel



Manfred Wannöffel arbeitet seit vielen
Jahren eng mit verschiedenen Unternehmen
und deren Betriebsräten zusammen.

Aber die Forschung zeigt auf, dass qualifizierte Betriebsräte eine Bereicherung für ein Unternehmen darstellen. Es ist kein grundsätzliches Gegeneinander von Management und Betriebsrat, sondern eine Konfliktpartnerschaft, die durch aus bestehende unterschiedliche Interessenlagen arbeitspolitisch austariert. Diese demokratische Perspektive wird zu Unrecht oftmals als links tituliert. Und Demokratien sind weltweit unter Druck. Umso wichtiger ist es, sie in den Betrieben alltäglich zu leben, aber auch durch Erfolge Demokratie zu stärken. Damit setzen wir auch einen Grundgedanken des kürzlich verstorbenen Jürgen Habermas mit Blick auf unsere Arbeitsdemokratie um: Im Rahmen der rechtsstaatlichen Bedingungen müssen die konkreten Lösungen in allen Bereichen der Gesellschaft unter den Beteiligten immer wieder ausgehandelt werden. Die Einführung von KI im Betrieb ist somit neben der technischen oder betriebswirtschaftlichen dann immer auch eine arbeitspolitische Aushandlungssache.

Unsere empirischen Studien zeigen unmissverständlich auf, dass die Betriebsräte neue Technologien keinesfalls verhindern, sondern dass sie diese gemeinsam mit dem Management menschengerecht gestalten wollen.

Wie kann man sich das vorstellen?

Wir haben in Bochum im Rahmen des Projektes „humAIne“ mit der Firma Doncasters zusammengearbeitet, einer Gießerei, die gerade sehr erfolgreich Turbinenschaufeln für Gaskraftwerke und Flugzeuge herstellt. Hier ging es um den Einsatz einer KI in der Qualitätskontrolle. Der Betriebsrat hatte selbst erkannt, dass dieser Einsatz sinnvoll sein kann und die Einführung gegenüber dem Management sogar forciert.

In einer Rahmenbetriebsvereinbarung wurde festgehalten, unter welchen Bedingungen diese KI eingesetzt werden soll. Betroffene Mitarbeitende werden zum Beispiel vor dem Einsatz der KI zwingend qualifiziert. Durch die Vereinbarung wird sichergestellt, dass kein Mitarbeiter seinen Job verliert, wenn sein Arbeitsplatz durch KI ersetzt wird. Sollten Aufgaben wegfallen, werden den Mitarbeitenden Alternativangebote im Unternehmen gemacht.

Wie lange dauert es, bis so eine Betriebsvereinbarung steht?

Das kann eine Weile dauern, zum Beispiel ein halbes bis ein Jahr ab Beginn des Austausches über das Thema. Es ist halt ein demokratischer, arbeitspolitischer Aushandlungsprozess. Wir haben die Betriebsvereinbarung von Doncasters, die Ende 2026 in die Umsetzung gehen soll, auch auf ihre Übertragbarkeit getestet mit einem Bochumer Traditionsunternehmen, der Maschinenfabrik und Eisengießerei Eickhoff. Anlass war ursprünglich die Einführung von KI-Lösungen im Officebereich. Der dortige Betriebsrat hat mit seiner Rahmenbetriebsvereinbarung für alle Betriebsbereiche das Vorbild Doncasters sogar noch überholt. Auch hieran sehen wir, dass wir in einem stetigen Entwicklungsprozess sind.

Wie geht es weiter, wenn die Vereinbarung einmal steht? Wird sie regelmäßig überarbeitet?

Vereinbarungen müssen sich im betrieblichen Alltag bewähren. In einem Best-Practice-Beispiel der Deutschen Telekom etwa überprüft ein paritätisch besetzter Ausschuss von Managementvertretern und Betriebsrat alle vier Wochen neue KI-Anwendungen, ob diese mit den Regelungen sowohl des Betriebsverfassungsgesetzes als auch des EU AI Act übereinstimmen.

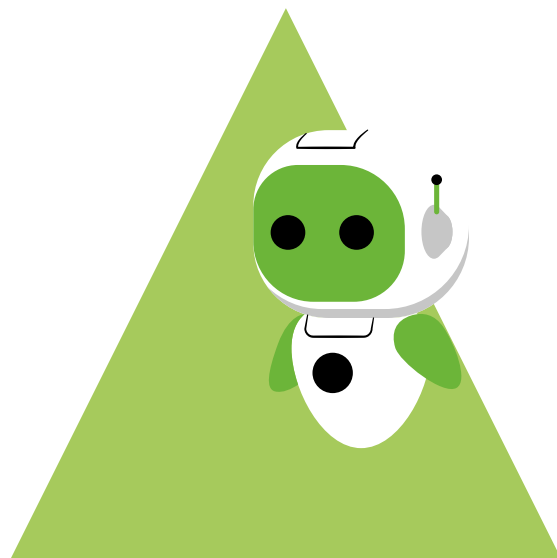
Diese kontinuierliche Arbeit erfordert jedoch sowohl einen fachlich und methodisch geschulten Betriebsrat als auch den Respekt des Managements vor der Institution der Mitbestimmung. Demokratie am Arbeitsplatz sollte Schule machen, denn sie ermöglicht eine konfliktarme Einführung von KI, zum Vorteil aller Beteiligten. Also sowohl für das Management als auch für die Belegschaft eines Unternehmens.

Können sich Unternehmen oder Betriebsräte Rat bei humAIne holen, wenn sie dem Beispiel folgen wollen?

Ja, wir haben neben wissenschaftlichen Artikeln auch eine kommentierte humAIne-Muster-Betriebsvereinbarung Künstliche Intelligenz erarbeitet, die die einzelnen arbeitspolitischen Prozessschritte erklärt. Gemeinsam mit dem TÜV Rheinland wird im Rahmen von humAIne auch ein Prozessgütesiegel entwickelt, das bestätigt, dass in einem Unternehmen KI menschenzentriert eingesetzt wird. Es basiert auf den Checklisten der ISO-Normen, die aber vor allem auf die Außenwirkung zielen.

Schließlich arbeiten wir alle daran, dass in der Bundesrepublik und in der EU ein demokratischer und menschenzentrierter Einsatz von KI zu einem marktfähigen Qualitätskriterium wird. Politik und Demokratie sind – nach Max Weber – jedoch das Bohren dicker Bretter, also eher langsam, KI dagegen rasend schnell. In Konkurrenz zu China und USA ist das wohl die größte Herausforderung. Um diese Ansätze zu verstetigen, wurde der Verein humAIne e.V. gegründet, der die Arbeit des Projekts humAIne weiterführt und als Anlaufstelle für Unternehmen und Interessenvertretungen dient.

Text: md, Foto: tk





PIRATERIE UNTER MIKROBEN

Bakterien brauchen Eisen für ihr Wachstum. Kommen sie aus eigener Kraft nicht gut genug heran, beklauen sie ihre Nachbarn.


Im Boden gönnt man einander nichts. Eine Milliarde Bakterien leben in einem Gramm Erde, dazu noch Pilze. Und es tobt ein steter Konkurrenzkampf zwischen den Mikroben. Es wird mit harten Bandagen gekämpft, vor allem dann, wenn Nährstoffe knapp oder schwer zugänglich sind. Die Methoden, mit denen die Kleinstlebewesen einander angehen, schaut sich Prof. Dr. Julia Bandow mit ihrem Team ganz genau an. Fernziel: Neue Substanzen entdecken, die sich als Antibiotika für den klinischen Einsatz eignen. „Auch Penicillin ist eine Substanz, die ein Pilz ausschüttet, um konkurrierende Bakterien zu töten und dabei deren Inhaltsstoffe freizusetzen, die dann verdaut werden können“, gibt Bandow ein Beispiel.

Aktuell konzentrieren sich die Forschenden darauf, wie Bakterien an die für ihr Wachstum nötigen Mikronährstoffe kommen. Dazu gehören unter anderem Mangan und Eisen, die zwar nur in geringer Menge gebraucht werden, ohne die aber kein Wachstum möglich ist. „Eisen ist ein Element, das es zwar überall im Überfluss gibt“, sagt Julia Bandow. „Aber es liegt überwiegend in schlecht wasserlöslicher Form vor und ist für die Organismen deswegen nur schlecht zugänglich.“ Eisen ist einer der limitierenden Faktoren für das Bakterienwachstum. „Wäre es einfach zu haben, würden nährstoffreiche Standorte binnen kurzem von einer zentimeterdicken Bakterienschicht überwuchert sein“, so die Forscherin.

Entsprechend haben Bakterien verschiedene Methoden entwickelt, trotzdem an Eisen heranzukommen. Diese Methoden sind unterschiedlich gut. Ist viel Eisen im Boden vorhanden, genügt ein Aufnahmesystem. Ist Eisen vorhanden, liegt aber beispielsweise an organisches Material gebunden vor, werden eisenbindende Moleküle, sogenannte Siderophore, gebildet, die strukturell einfach sind, wie Citrat. Bei noch weniger Eisenangebot kommen komplexe Siderophore wie Hydroxamate und Catecholate infrage, um an Eisenatome zu kommen.

Die Königsdisziplin in der Verfügbarmachung von Eisen sind in der Tat Catecholate. „Wir haben mit dem Bodenbak-

Lara Marson, Doktorandin am Lehrstuhl für Angewandte Mikrobiologie, untersucht, welche natürlichen Derivate von Calcimycin durch Wildtyp- und Mutantenstämmen unter unterschiedlichen Kultivierungsbedingungen produziert werden.



Julia Bandow,
Leiterin des Lehr-
stuhls für Ange-
wandte Mikrobiologie
und der NRW-For-
schungsinfrastruktur
CESAR

”
MAN STELLT
SICH DIFFU-
SIONSPRO-
ZESSE IMMER
LANGSAM VOR
– ABER AUF DER
GRÖSSENSKALA
VON MIKROBEN
SIND SIE SEHR
SCHNELL.
“

Julia Bandow

terium *Bacillus subtilis* einen wahren Spezialisten darin“, sagt Julia Bandow. „Es ist in der Lage, Catecholat-Siderophore zu bilden, die alle anderen Methoden zur Eisengewinnung übertreffen.“ Das lässt sich das Bakterium allerdings auch einiges kosten. Schon die Bildung dieser Moleküle ist mit einigem Aufwand verbunden, weil die Synthese eine Reihe von Proteinen erfordert. Werden die Siderophore ausgeschüttet, bilden sie einen wasserlöslichen Komplex mit Eisen, der dann unter Energieaufwand durch die Zellhülle importiert werden muss. Ist der Komplex im Inneren des Bakteriums, muss er aufwändig zerlegt werden, um das Eisen freizusetzen. „*Bacillus subtilis* setzt diese Methode der Eisenbeschaffung deswegen auch nur bei Eisenmangel ein“, erklärt Julia Bandow, „sonst nutzt es einfachere Substanzen.“ Allerdings sammelt das Bakterium auch Eisen und hortet es in seinem Inneren, damit immer ausreichend für das Wachstum zur Verfügung steht.

Werkzeuge für den Eisenklau

Ganz anders haushaltet einer seiner Konkurrenten, *Streptomyces chartreusis*. Auch dieses Bodenbakterium ist in der Lage, Eisen aus der Umgebung in sein Inneres zu bringen. Es nutzt dafür Hydroxamat-Siderophore, die ausreichen, solange Eisen mindestens mittelmäßig gut verfügbar ist. Bei Eisenmangel, wenn nur noch Catecholate helfen, setzt *Streptomyces* auf eine andere Taktik: Es klaut bei seinen Nachbarn. „Dazu verfügt es über Aufnahmesysteme für fremde Siderophore“, erklärt Julia Bandow. „Diese Strategie ist unter Bakterien recht verbreitet. Man findet sie auch in Bakterien, die den Menschen besiedeln.“

Streptomyces chartreusis verfügt über ein zweites Werkzeug, das sich zum Klau von Eisenatomen eignet. Die Forschenden untersuchen Ionophore als Schlüsselsubstanzen, allen voran Calcimycin.



Zur Stammerhaltung werden unter sterilen Bedingungen die Sporen gewonnen, indem sie mit einem Wasser-Glycerol-Gemisch abgeschwemmt werden.

Diese Moleküle, die *Streptomyces* herstellen kann, sind im Urzustand wasserlöslich, so dass sie die Lipidmembran des Bakteriums schlecht passieren können. Das klappt erst gut, wenn sie eine Verbindung mit einem Metallatom eingehen. In diesem Moment kehrt sich die wasserlösliche Seite des Moleküls zum Metall nach innen, und es kann in dieser Form ohne Energieaufwand die lipophile Schicht der Zellmembran passieren.

Die Forschenden isolierten Calcimycin und beobachteten, wie sich die Substanz auf *Bacillus subtilis* auswirkt. Dazu nutzten sie ein von der Ruhr-Universität beschafftes ICP-Massenspektrometer – ICP steht für inductively coupled plasma –, das feinste Spuren von Metallen messen kann. „Allein den Workflow zu etablieren, hat uns viel Zeit gekostet“, erzählt Julia Bandow. „Denn die kleinste Verunreinigung kann das Messergebnis verfälschen. Daher darf man bei der Probenvorbereitung weder Schmuck tragen noch Handcreme verwenden und muss Handschuhe tragen.“

Bakterium unter Verdacht

Es zeigte sich: Setzt man *Bacillus* dem Ionophor aus, verliert es an Eisen und Mangan. „Im Austausch reichert sich Calcium, welches in der Umgebung der Zelle in hohen Konzentrationen verfügbar ist, in der Zelle an“, unterstreicht Bandow. „Es handelt sich um Ionophor-vermittelte Diffusion entlang von Gradienten. Man stellt sich Diffusionsprozesse immer langsam vor – aber auf der Größenskala von Mikroben sind sie sehr schnell.“ Der Verlust der Mikronährstoffe regt das *Bacillus* zur Herstellung von mehr Siderophoren an, mit deren Hilfe es seine Eisenvorräte versucht wieder aufzustocken.

Um mehr über die zugrunde liegenden Prozesse herauszufinden, nutzt das Forschungsteam verändertes Calcimycin. Es zeigte sich: Hängt man ein Bromatom an das Ionophor, ändert sich seine Funktion. Dann kann es kein Eisen mehr transportieren, stattdessen aber Kupfer.

Das Team reinigte die vom Bakterium produzierten Ionophore auf. „Wir konnten zeigen, dass *Streptomyces* acht bis zehn verschiedene Baupläne umsetzen kann, die sich chemisch geringfügig voneinander unterscheiden“, berichtet Julia Bandow. „Nun wollen wir herausfinden, wie die Produktion der unterschiedlichen Varianten dem Bakterium hilft, sich an verschiedene Umweltbedingungen anzupassen“, erzählt die Forscherin.

All diese Erkenntnisse zusammengenommen, verdächtigen die Forschenden *Streptomyces*, *Bacillus subtilis* systematisch auszurauben. Es kann mit Ionophoren Eisen aus *Bacillus subtilis* schleusen und dieses mittels der Siderophore aufnehmen und so in sein Wachstum investieren.

Das wäre zwar ganz schön unsympathisch von *Streptomyces*. Sollte sich der Verdacht aber bestätigen, könnte sich diese Erkenntnis als nützlich erweisen. Denn Ionophore wie Calcimycin haben starke antibiotische Wirkung.

Text: md, Fotos: tk



Kultivierung von *Streptomyces chartreusis* NRRL 3882 in Flüssigkultur zur Produktion von Calcimycin



Dr. David Podlesainski leitet das Mass Spectrometry Core for Life Sciences (MCLS) an der Fakultät für Biologie und Biotechnologie. Er führt Element-Analysen durch, die Auskunft über die Metallzusammensetzung biologischer Proben geben.

Standpunkt

VOM STAATENKLAU ZUR SELBSTBESTIMMUNG

*Können Staaten einfach Gebiete verschieben oder müssen die Menschen, die dort leben, eingebunden werden?
Jurist Pierre Thielbörger erklärt, wer im Völkerrecht über Grenzen entscheidet.*

Grundsätzlich können sich Staaten in völkerrechtlichen Verträgen über Rechtsänderungen einigen, auch über die Verschiebung von Grenzen. Historisch ist das auch nichts Ungewöhnliches. Gerade die USA haben hier eine lange Tradition: Die Amerikaner haben im 19. Jahrhundert Alaska von den Russen, Florida von den Spaniern und New Orleans von den Franzosen gekauft.

Seit dem 20. Jahrhundert sind die Spielregeln aber deutlich strenger geworden. Zentral ist das Gewaltverbot der Vereinten Nationen. Kein Staat darf sich ein Gebiet einfach mit militärischer Gewalt aneignen. Eine Annexion, also die einseitige Einverleibung fremden Territoriums, ist klar völkerrechtswidrig. Andere Staaten dürfen die Ergebnisse solcher Annexionen auch nicht anerkennen. Was unter Zwang genommen wurde, bleibt rechtlich stets angreifbar. In diesem Sinne ist „alles nur geklaut“ eben gerade kein zulässiges Prinzip der internationalen Ordnung mehr.

Heißt das im Umkehrschluss, dass Gebietsverschiebungen nun gar nicht mehr möglich sind? Nein. Sie können rechtmäßig erfolgen, etwa durch Verträge, durch die Vereinigung von Staaten oder durch Abspaltungen, die im Völkerrecht aber nur sehr selten zulässig sind. Entscheidend ist dabei stets die freie Zustimmung der Beteiligten. Und hier kommt eine zweite, zunehmend wichtige Ebene ins Spiel: die Bevölkerung.

Nach überzeugender Auffassung reicht es heute nicht mehr, wenn Regierungen allein entscheiden. Gerade bei tiefgreifenden territorialen Veränderungen soll auch die betroffene Bevölkerung einbezogen werden, etwa durch Referenden. Dahinter steht das Selbstbestimmungsrecht der Völker. Menschen sollen über ihre politische Zugehörigkeit nicht einfach „mitverkauft“ werden.

Das hat konkrete Folgen für aktuelle Konflikte. Im Krieg gegen die Ukraine etwa wären Gebietsabtretungen nur dann völkerrechtskonform, wenn sie freiwillig erfolgen, also ohne weiterhin bestehenden militärischen Zwang, und wenn auch die betroffenen Menschen zustimmen. Ähnliches gilt für den Nahostkonflikt: Jede tragfähige Lösung würde die Zustimmung der Palästinenser*innen voraussetzen. Und Grönland kann Donald Trump nur erwerben, wenn der Staat Dänemark und die grönländische Bevölkerung zustimmen würden. All diese Szenarien sind natürlich sehr unwahrscheinlich.

Fazit: Grenzen können sich verändern. Aber sie sind kein beliebiges Verhandlungsobjekt. Das moderne Völkerrecht setzt klare Schranken: keine Gewalt, echte Freiwilligkeit und Mitsprache der Völker, die dort wohnen. Ganz so einfach „geklaut“ werden können Gebiete also heute im Völkerrecht nicht mehr.

Text: Prof. Dr. Pierre Thielbörger, Institut für Friedenssicherungsrecht und Humanitäres Völkerrecht;

Foto: Mirko Raatz

”

GRENZEN KÖNNEN SICH
VERÄNDERN. ABER SIE SIND KEIN
BELIEBIGES VERHANDLUNGSOBJEKT.

“

Pierre Thielbörger



Pierre Thielbörger ist Professor für Öffentliches Recht und Völkerrecht an der Juristischen Fakultät und Direktor des dortigen Zentrums für Internationales sowie Geschäftsführender Direktor des Instituts für Friedenssicherungsrecht und Humanitäres Völkerrecht.

WENN LASER- LICHT^T NACH REGELN TANZT

„Computer, einen Becher Kaffee, schwarz.“ Die Luft beginnt zu leuchten, die Strahlen verdichten sich und nehmen die Form eines Bechers an, der sich schließlich mit klaren Konturen materialisiert und mit einer dunklen Flüssigkeit gefüllt ist. Die Replicator-Technologie ist vermutlich eine der begehrtesten Erfindungen der Serie „Star Trek“. Auf Wunsch bereitet das Gerät allerlei Speisen und Getränke in wenigen Sekunden zu. Was nach purer Science-Fiction klingt, hat Forschende an der Ruhr-Universität Bochum zu einem ambitionierten Projekt inspiriert.

Prof. Dr. Ömer Ilday und Prof. Dr. Serim Ilday arbeiten an einem atomaren 3D-Drucker. Er soll Materialien in eine von vielen möglichen atomaren Anordnungen lenken, zum Beispiel eine Honigwabenstruktur oder eine würfelförmige Anordnung. „Natürlich werden wir nicht in fünf Jahren einen fertigen Drucker hier stehen haben“, bremst Ömer Ilday die Erwartungen. „Uns geht es nicht darum, zu kontrollieren, wo jedes einzelne Atom landet; das ist vermutlich sowieso unmöglich. Wir wollen die Atome in eine beliebige ihrer möglichen atomaren Strukturen bringen – und dafür haben wir schon einige gute Ideen.“

Das Prinzip der Selbstorganisation

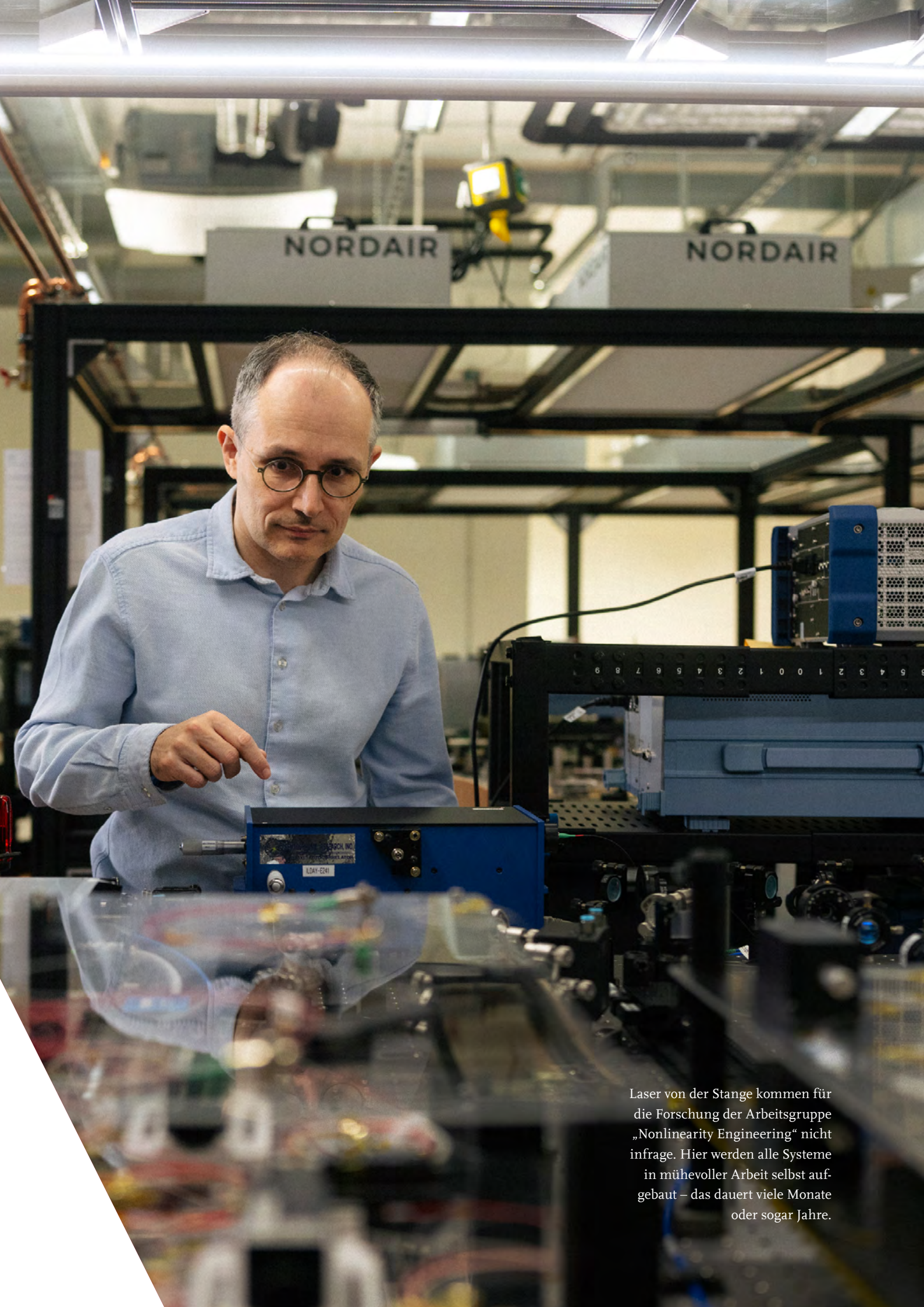
Im Rahmen einer renommierten Humboldt-Professur kam Ömer Ilday 2023 aus Ankara an die Fakultät für Elektrotechnik der Ruhr-Universität Bochum. Er ist Spezialist für Laser-Entwicklung und Laser-Materie-Wechselwirkungen und Gründer des Center for Complex Interactions an der Ruhr-Universität. Das Schlüsselwort in seiner Forschung lautet Selbstorganisation. Ilday ergründet die Prinzipien, nach denen sich die Bestandteile eines Systems von allein in eine Struktur organisieren, welche ein anderes Verhalten zeigt als die Einzelteile – seien das Lichtteilchen in einem Laser, Atome in einem Material oder Zellen in einem Organismus.

„Seit meinem zweiten Semester im Studium fasziniert mich das Prinzip der Selbstorganisation“, erzählt Ömer Ilday. „Die Tatsache, dass Selbstorganisation in der Natur auftritt, beweist, dass sie möglich ist.“ Die zugrunde liegenden Mechanismen möchte der Forscher verstehen, und sie auf neue Anwendungen übertragen.

Die Natur organisiert sich selbst: Aus einzelnen Zellen wird etwa ein Organismus. Forschende übertragen die Prinzipien der Selbstorganisation auf technische Anwendungen. Sie wollen einen atomaren 3D-Drucker entwickeln.

i CENTER FOR COMPLEX INTERACTIONS

Die Aufgabe des Center for Complex Interactions, kurz CCI, besteht darin, das grundlegende Verständnis, die Vorhersage und die Steuerung nichtlinearer, rückkopplungsgetriebener komplexer Wechselwirkungen in physikalischen, biologischen und technischen Systemen zu fördern. Es bringt Forschende aus Physik, Ingenieurwissenschaften, Chemie und verwandten Disziplinen zusammen. Sie ergründen, wie komplexe Wechselwirkungen für die Entwicklung neuer Materialien, Fertigungsprozesse und Technologien genutzt werden können. Das Center ist ein Schlüsselement des Potenzialbereichs „Engineering Complexity“, der Teil des gemeinsamen Exzellenzstrategieantrags für das „Ruhr Innovation Lab“ der Ruhr-Universität Bochum und der TU Dortmund ist.



Laser von der Stange kommen für die Forschung der Arbeitsgruppe „Nonlinearity Engineering“ nicht infrage. Hier werden alle Systeme in mühevoller Arbeit selbst aufgebaut – das dauert viele Monate oder sogar Jahre.

Die gesamte Forschung in Ildays Arbeitsgruppe „Nonlinearity Engineering“ dreht sich um Laser, also Quellen, die sehr energiereiches, gebündeltes Licht erzeugen – und sich mithilfe der Selbstorganisation optimieren lassen könnten. Viele Gruppen weltweit suchen nach Möglichkeiten, Laser leistungsstärker und schneller zu machen, wobei schneller bedeutet, dass sie Lichtpulse in immer kürzeren Abständen aussenden. Ein Ansatz dafür ist, ein bestimmtes Bauteil des Lasers, den sogenannten Resonator, immer kleiner zu machen. Aber irgendwann ist eine physikalische Grenze für den kleinstmöglichen Resonator erreicht. „Außerdem ist es sehr schwer, hohe Energien mit kleinen Resonatoren zu erzielen“, so Ilday.

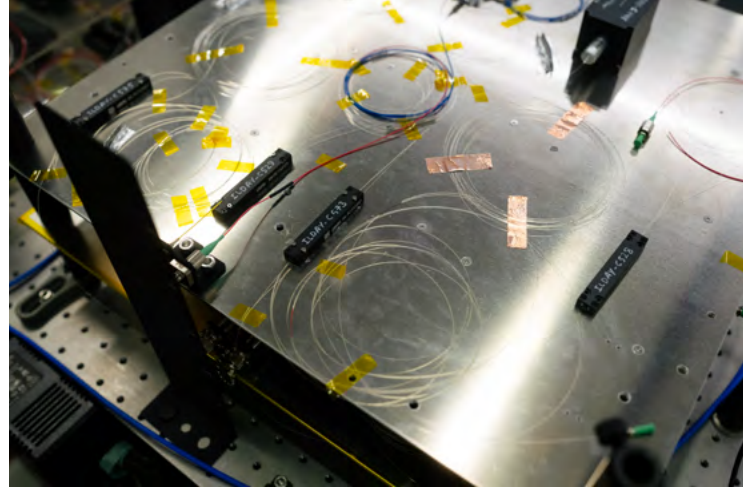
Die Bochumer Forschenden erzeugen ultrakurze Laserpulse nicht mit möglichst kleinen Resonatoren, sondern mithilfe von Selbstorganisation. Sie nutzen einen relativ großen Resonator, in dem sich das Lichtfeld in eine Sequenz von Pulsen mit regelmäßigen Abständen organisiert – wie Perlen auf einer Kette, die sich durch die Zeit erstreckt, nicht durch den Raum. Die einzelnen Lichtperlen treten schließlich in Form von kurzen energiereichen Lichtpulsen aus dem Laser aus.

i RESONATOR

Der Resonator eines Lasers besteht aus zwei gegenüberliegenden Spiegeln, von denen einer halbdurchlässig ist. Lichtteilchen, die im Resonator erzeugt und verstärkt werden, bewegen sich im Resonator umher und durchlaufen dabei immer wieder ein Lasermedium, in welchem sie Atome anregen und zur Emission weiterer Lichtteilchen bringen. Dadurch nimmt die Anzahl der Lichtteilchen lawinenartig zu. Ein Teil des so verstärkten Lichts tritt durch den halbdurchlässigen Spiegel als Laserstrahl aus.

Aus dem Nichts versammeln sich Lichtteilchen allerdings nicht an bestimmten Orten. „Wenn man den Laser einschaltet, sind sie erst einmal zufällig verteilt“, erklärt Ömer Ilday. „Wir bauen in unser System gewisse Regeln ein, die dazu führen, dass die Lichtteilchen sich selbst in die gewünschte Struktur organisieren. Wie das gelingen kann, in diese Frage investieren wir eine Menge Hirnschmalz.“

Ömer Ildays Team baut in den Laser ein nicht-lineares Gatter ein: Schwaches Licht, das das Gatter passiert, erleidet hohe Verluste, starkes Licht weitaus geringere. „Man kann es sich wie eine Absperrung vorstellen, die einzelne Personen nicht überwinden können“, vergleicht der Forscher. „Wenn aber eine Gruppe von Leuten gegen die Absperrung drückt, können sie sie durchbrechen.“ Das System gehorcht vereinfacht gesagt zwei Regeln. Erstens: Schwaches Licht wird an dem nicht-linearen Gatter stark gedämpft, während intensives Licht mit deutlich geringeren Verlusten passieren kann. Zweitens: Der Laser füllt das verbleibende Licht kontinuierlich über sein Verstärkungsmedium wieder auf, sodass stärkere Impulse bevorzugt aufrechterhalten werden.



In Ömer Ildays Labor wird statt von Friday (Freitag) scherzhaft gern vom Fryday (Brutzeltag) gesprochen. Denn die Laser werden zu so starken Leistungen gepusht, dass auch mal ein paar Komponenten durchschmoren. Die hier gezeigte Metallkonstruktion soll die entstehende Hitze aus den Fasern ableiten.

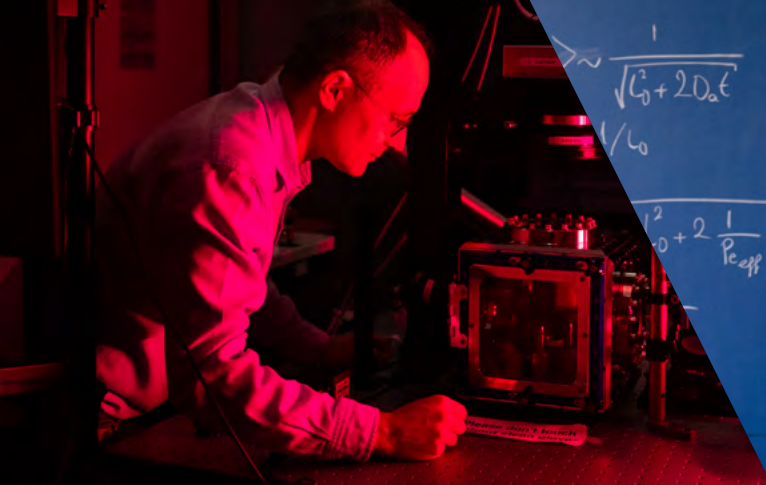
Im Laser-Resonator stehen die Lichtteilchen niemals still; sie drehen ihre Runden und gelangen dabei immer wieder an das nicht-lineare Gatter. Wenn Schwankungen zu einer lokal höheren Lichtintensität führen, erleidet dieser Teil des Lichts geringere Verluste am nicht-linearen Gatter und wird bevorzugt verstärkt. Verteilte Lichtteilchen werden weitgehend ausgelöscht. Durch diese Rückkopplung organisiert sich das Lichtfeld selbst zu kurzen, intensiven Pulsen, die sich in regelmäßigen Abständen wiederholen.

Das Zauberwort für diesen Prozess der Selbstorganisation lautet Feedback. Denn das Ergebnis – in diesem Fall die Wahrscheinlichkeit, mit der ein Lichtteilchen die Barriere passieren kann – ist abhängig von vorherigen Ereignissen – nämlich davon, ob mehrere Lichtteilchen sich als Kollektiv zusammengeschlossen haben.

Schnell und leistungsstark – aber auch stabil?

Ein Ultrakurzpuls laser, der auf einem solchen Prinzip basiert, wäre nicht nur potenziell schneller als Systeme, die auf besonders kleine Resonatoren setzen, sondern könnte auch leistungsstärker sein. Wobei die Forschenden bei der praktischen Umsetzung gelegentlich auf Hürden stoßen. „Wir bauen unsere Lasersysteme alle selbst und treiben sie zu immer höherem Leistungsvermögen an“, erzählt Ömer Ilday. „Die Energien sind teils so hoch, dass sich die Technik selbst grillt – das ist normal und gehört dazu. Aber man muss aufpassen, dass es keine Kettenreaktion gibt, die einem ein Bauteil nach dem anderen killt.“

Aber nicht nur die technische Realisierung der Konzepte ist eine Herausforderung. Die Idee, eine große Zahl ultrakurzer Pulse innerhalb desselben Resonators zu erzeugen, gibt es schon seit Jahrzehnten, und genauso lange beißen sich Forschungsgruppen weltweit bereits die Zähne daran aus. Denn das Timing und die Wechselwirkungen zwischen den Pulsen lassen sich nur schwer stabilisieren, und bislang funktionieren die Systeme nicht über längere Zeiträume zuverlässig. „Ich denke, dass wir dieses Problem zeitnah in den



In dieser Kammer erproben die Forschenden die Grundlagen eines atomaren 3D-Druckers. Ein Laserstrahl wird in zwei Bündel aufgeteilt, die auf ihrem Weg zur Kammer unterschiedlich modifiziert werden. Das eine Bündel verdampft die Atome eines festen Materials, während das andere Bündel steuern soll, wie sich die verdampften Atome neu anordnen.

Griff bekommen werden“, prognostiziert Ömer Ilday. „Wir haben bereits deutliche Fortschritte erzielt.“

Mittlerweile konzentriert sich Ömer Ildays Forschung nicht mehr nur auf Laser, sondern auch auf die Wechselwirkungen zwischen Lasern und Materie – eine Idee, auf die ihn seine Frau und Kooperationspartnerin Serim Ilday brachte. Die Prinzipien der Selbstorganisation sind dabei die gleichen wie im Laser selbst: Feedback, Nichtlinearität oder Fluktuationen im Rauschen spielen eine große Rolle. Zudem ist eine hierarchische Organisation wichtig; mehrere Ebenen der Selbstorganisation führen letztendlich zu komplexem Verhalten. Im Fall des oben beschriebenen Lasersystems sorgt beispielsweise eine Hierarchie-Ebene dafür, dass sich Lichtteilchen zu einem bestimmten Zeitpunkt versammeln, eine weitere Hierarchie-Ebene bewirkt, dass sie sich in gleichen Abständen wie an einer Kette aufreihen.

Hat man die grundlegenden Prinzipien der hierarchischen Selbstorganisation in einem System verstanden, kann man sie auf ein anderes System übertragen. Und genau daran arbeiten die Gruppen von Serim und Ömer Ilday nun, um den atomaren 3D-Drucker zu realisieren.

Ein Becher Kaffee wird in ihren Laboren sicher nicht so schnell aus dem Nichts auftauchen. Aber darum geht es den beiden auch nicht: „Wir wollen nichts Bestimmtes drucken“, sagt Ömer Ilday. „Uns interessieren die wissenschaftlichen Fragen, die wir stellen müssen, um den atomaren 3D-Drucker eines Tages Wirklichkeit werden zu lassen: Was braucht es, damit es möglich ist, und wo sind physikalische Grenzen?“ Ildays Herz schlägt dabei für die Theorie, die Formeln. „Mein Job ist mein Hobby und mein Hobby ist mein Job – ich liebe, was ich tue, und bin sehr dankbar dafür, dass ich die Möglichkeit dazu habe“, schwärmt er. „Jeden Tag, an dem ich über die Konzepte der Selbstorganisation nachdenken und mich mit den Formeln beschäftigen kann, bin ich ein glücklicher Mensch.“

Text: jwe, Fotos: tk

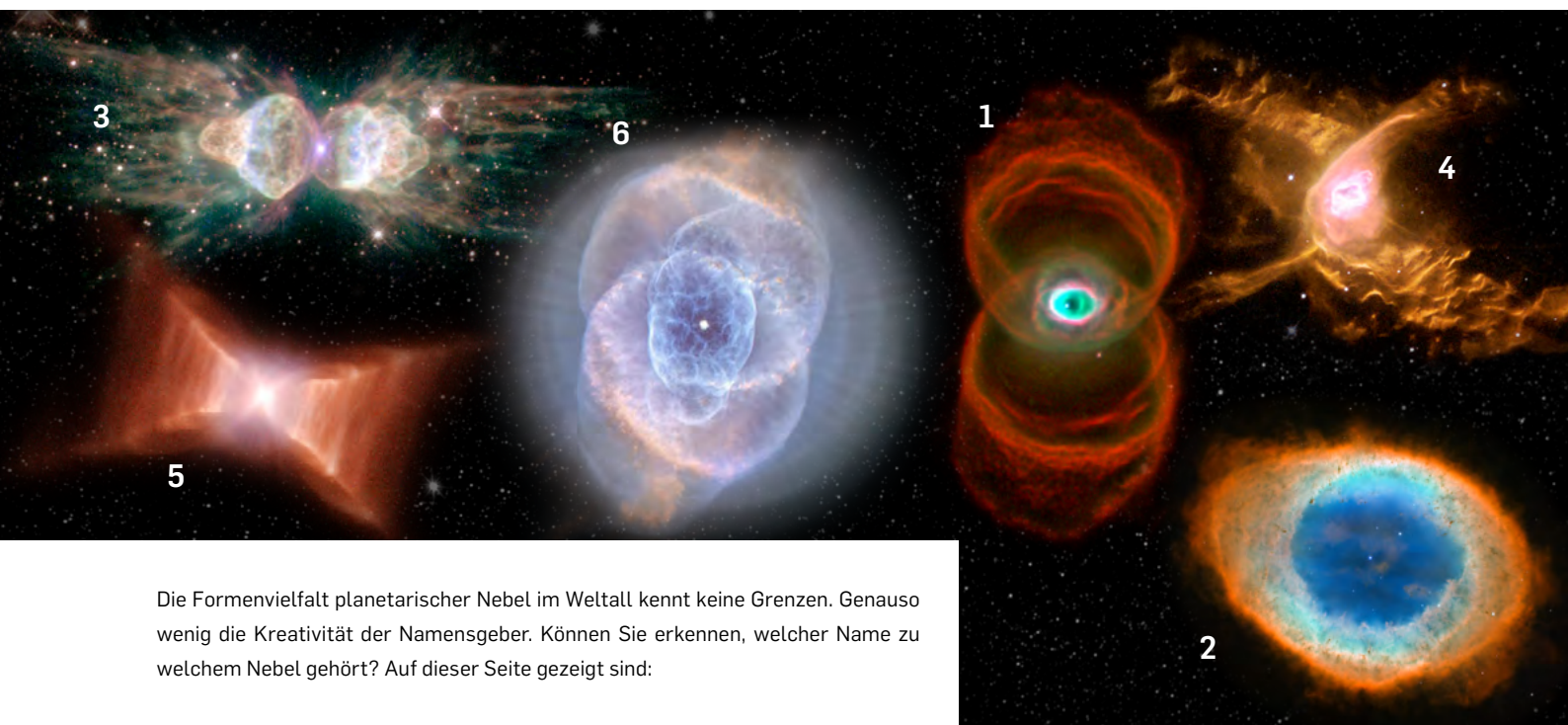
Ömer Ilday wechselte gemeinsam mit seiner Frau Serim Ilday, Leiterin des „Simply Complex Lab“, an die Ruhr-Universität Bochum. Dort, wo die Forschungsbereiche der beiden aufeinandertreffen, entstehen visionäre Projekte wie der atomare 3D-Drucker.

”
DIE TATSACHE,
DASS SELBST-
ORGANISATION
IN DER NATUR
AUFTRITT,
BEWEIST,
DASS SIE
MÖGLICH IST.



Ömer Ilday

REDAKTIONSSCHLUSS



Die Formenvielfalt planetarischer Nebel im Weltall kennt keine Grenzen. Genauso wenig die Kreativität der Namensgeber. Können Sie erkennen, welcher Name zu welchem Nebel gehört? Auf dieser Seite gezeigt sind:

- | | |
|----------------------|-------------------------|
| a) Katzenaugen-Nevel | d) Stundenglas-Nevel |
| b) Ameisen-Nevel | e) Ring-Nevel |
| c) Rote-Spinne-Nevel | f) Rotes-Rechteck-Nevel |

Die Formen der Nebel sind übrigens keine reinen Zufallsprodukte. Aus manchen Strukturen können Forschende Rückschlüsse auf Vorgänge ziehen, die zur Entstehung der Nebel geführt haben. Mehr dazu auf Seite 48.

Lösungen unten auf dieser Seite.

Aufnahmen:

- 1) Raghvendra Sahai and John Trauger (JPL), the WFPC2 science team, and NASA/ESA
- 2) NASA, ESA, and C. Robert O'Dell (Vanderbilt University)
- 3) NASA, ESA and The Hubble Heritage Team (STScI/AURA); Acknowledgment: R. Sahai (Jet Propulsion Lab) and B. Balick (University of Washington)
- 4) ESA & Garrelt Mellema (Leiden University, the Netherlands)
- 5) NASA/ESA, Hans Van Winckel (Catholic University of Leuven, Belgium) and Martin Cohen (University of California, USA)
- 6) NASA, ESA, and the Hubble Heritage Team (STScI/AURA)

IMPRESSUM

HERAUSGEBER: Rektorat der Ruhr-Universität Bochum in Verbindung mit dem Dezernat Hochschulkommunikation der Ruhr-Universität Bochum (Hubert Hundt, vi.S.d.P.)

WISSENSCHAFTLICHER BEIRAT: Prof. Dr. Birgit Aпитzsch (Sozialwissenschaft), Prof. Dr. Thomas Bauer (Fakultät für Wirtschaftswissenschaft), Prof. Dr. Christoph Bühnen (Sportwissenschaft), Prof. Dr. Elena Enax-Krumova (Medizin), Prof. Dr. Anna Franckowiak (Physik und Astronomie), Prof. Dr. Constantin Goschler (Geschichtswissenschaften), Prof. Dr. Markus Kaltenborn (Jura), Prof. Dr. Kristina Liefke (Philosophie und Erziehungswissenschaft) Prof. Dr. Günther Meschke (Prorektor für Forschung und Transfer), Prof. Dr. Martin Muhler (Chemie), Prof. Dr. Ines Mulder (Geowissenschaft), Prof. Dr. Franz Narberhaus (Biologie), Prof. Dr. Nils Pohl (Elektro- und Informationstechnik), Prof. Dr. Tatjana Scheffler (Philologie), Prof. Dr. Sabine Seehagen (Psychologie), Prof. Dr. Roland Span (Maschinenbau), Prof. Dr. Marc Wichern (Bau- und Umweltingenieurwissenschaft), Prof. Dr. Peter Wick (Evangelische Theologie)

REDAKTIONSANSCHRIFT: Dezernat Hochschulkommunikation, Redaktion Rubin, Ruhr-Universität Bochum, 44780 Bochum, Tel.: 0234/32-25228, rubin@rub.de, news.rub.de/rubin

REDAKTION: Dr. Julia Weiler (jwe, Redaktionsleitung); Meike Drießen (md); Dr. Lisa Bischoff (lb); Raffaella Römer (rr)

FOTOGRAFIE: Damian Gorczany (dg), Schiefersburger Weg 105, 50739 Köln, Tel.: 0176/29706008, damiangorczany@yahoo.de, www.damiangorczany.de; Tim Kramer (tk) und Katja Marquard (km), Agentur für Markenkommunikation, Ruhr-Universität Bochum

COVER: Adobe Stock, irinakuz9

BILDNACHWEISE INHALTSVERZEICHNIS: Teaserfoto für Seite 12: Adobe Stock, Kara; Seite 34: Hermann Kohlstedt; Seite 56, 62: RUB, Tim Kramer

GRAFIK, ILLUSTRATION, LAYOUT UND SATZ:

Agentur für Markenkommunikation, Ruhr-Universität Bochum, www.einrichtungen.rub.de/de/agentur-fuer-markenkommunikation. Bei der Bearbeitung einzelner Motive kam generative KI (Adobe Firefly) zum Einsatz.

DRUCK: Kern GmbH, In der Kolling 120, 66450 Bexbach, kerndruck.de, info@kerndruck.de

ANZEIGEN: Dr. Julia Weiler, Dezernat Hochschulkommunikation, Redaktion Rubin, Ruhr-Universität Bochum, 44780 Bochum, Tel.: 0234/32-25228, rubin@rub.de

AUFLAGE: 3.700

BEZUG: Rubin erscheint zweimal jährlich und ist erhältlich im Dezernat Hochschulkommunikation der Ruhr-Universität Bochum. Das Heft kann kostenlos abonniert werden unter news.rub.de/rubin/abo. Das Abonnement kann per E-Mail an rubin@rub.de gekündigt werden.

ISSN: 0942-6639

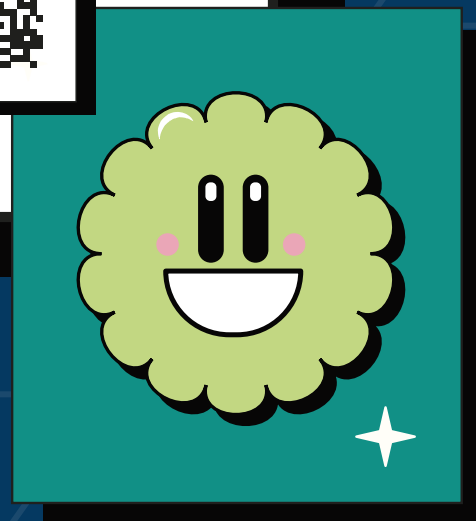
Nachdruck bei Quellenangabe und Zusenden von Belegexemplaren

Die nächste Ausgabe von RUBIN erscheint am 1. Dezember 2026.



WIE GEHT ES FÜR IHR KIND NACH DEM ABI WEITER?

INFOS ZU DEN STUDIEN-
MÖGLICHKEITEN UND ALLEN
BERATUNGSANGEBOTEN DER
RUHR-UNIVERSITÄT BOCHUM
GIBT ES HIER:



**RUHR
INNOVATION
LAB**

TOGETHER FOR A FUTURE-PROOF SOCIETY

Ruhr-Uni Bochum und TU Dortmund
gemeinsam in der Exzellenzstrategie.
Entdecke das Ruhr Innovation Lab.

