

# LICHTGEDANKEN

Das Forschungsmagazin

13

EXZELLEENZ »IMAGINAMICS« IM FINALE

KI-PRAXIS AM PULS DER ERDE

KALENDERBLATT MATHILDE VAERTINGS ANTRITTSVORLESUNG



FRIEDRICH-SCHILLER-  
UNIVERSITÄT  
JENA

## VON MASCHINEN UND MENSCHEN





**Dr. Ute Schönfelder, Redakteurin**  
 Abteilung Hochschulkommunikation  
 der Friedrich-Schiller-Universität Jena  
 Foto: Anne Günther

#### HERAUSGEBER:

Abteilung Hochschulkommunikation/Bereich Presse  
 und Information im Auftrag des Präsidenten der  
 Friedrich-Schiller-Universität Jena

#### REDAKTION UND GESTALTUNG:

Katja Bär, Axel Burchardt (AB; v.i.S.d.P.), Liana Franke,  
 Thomas Franke-Opitz, Sebastian Hollstein (sh),  
 Janine Kalisch (JK), Dr. Marco Körner (MK), Stephan Laudien  
 (sl), Dr. Ute Schönfelder (US), Irena Walinda (IW), Laura  
 Weißert (LW), Denise Glaser (Redaktionsassistentin)  
 Titelfoto: Jens Meyer

Grafisches Konzept: Timespin – Digital Communication  
 GmbH, Schenkstraße 7, 07749 Jena

#### ANSCHRIFT:

Friedrich-Schiller-Universität Jena  
 Fürstengraben 1, 07743 Jena  
 Telefon: 03641 9-401400  
 E-Mail: presse@uni-jena.de

#### GESAMTHERSTELLUNG:

Druckhaus Gera GmbH, Jacob-A.-Morand-Straße 16,  
 07552 Gera

INTERNET: [www.lichtgedanken.uni-jena.de](http://www.lichtgedanken.uni-jena.de)

ISSN: 2510-3849

ERSCHEINUNGSDATUM: März 2024

Nachdruck nur mit Genehmigung gestattet. Für unverlangt  
 eingesandte Manuskripte, Fotos u. Ä. wird keine Haftung  
 übernommen. Namentlich gekennzeichnete Artikel müs-  
 sen nicht mit den Auffassungen des Herausgebers und der  
 Redaktion übereinstimmen. Für den Inhalt sind die Unter-  
 zeichner verantwortlich. Zur besseren Lesbarkeit haben  
 wir in den Texten teilweise nur die männliche Sprachform  
 verwendet. Mit den gewählten Formulierungen sind jedoch  
 alle Geschlechter gleichermaßen angesprochen.



Mit diesem Icon gekennzeichnete  
 Abbildungen sind mit dem KI-Tool  
 Midjourney erstellt worden.

## Lernen und lernen lassen

Im zurückliegenden Jahr hat das Thema »Künstliche Intelligenz« für große Aufmerksamkeit gesorgt: Generative KI-Tools – allen voran ChatGPT – sind online frei verfügbar, beinahe täglich kommen neue Werkzeuge hinzu. Auf der anderen Seite wächst die Sorge vor den immer leistungsfähiger werdenden Technologien. Prominente Stimmen, darunter namhafte KI-Experten, warnen 2023 eindringlich vor den Risiken und forderten ein Moratorium – eine Art »Trainingspause« – für KI-Systeme. Dahinter steckt die Befürchtung nicht weniger Menschen, die selbstlernenden, »intelligenten« Algorithmen könnten uns nicht nur nützlich sein. Vielmehr könne die unbestreitbare Überlegenheit von KI-Modellen in vielen Bereichen dazu führen, dass diese für uns irgendwann unkontrollierbar werden. Manches Schreckensszenario sieht gar das Ende der Menschheit durch die KI voraus.

In der vorliegenden Ausgabe der LICHTGEDANKEN wollen wir aufzeigen, was KI heute tatsächlich kann und was (noch) nicht. In unserem Schwerpunkt »Von Maschinen und Menschen« geben die KI-Experten Joachim Denzler (s. S. 12) und Clemens Beckstein (s. S. 14) einen Überblick über die unterschiedlichen Formen von KI und erklären deren Funktionsweise. Dabei diskutieren sie auch die Grenzen von KI und zeigen, dass künstliche und menschliche Intelligenz keineswegs Gegenpole sind, die miteinander im Wettstreit stehen. Die Möglichkeiten von KI fordern uns heraus, aber sie machen uns auch klar, wo unsere eigenen Stärken liegen. Und so kann durch das Miteinander von lernenden Systemen und ihrer vernünftigen Anwendung vielleicht sogar eine ganz neue Qualität von »Intelligenz« entstehen.

Schon jetzt kommen KI-Tools und -Technologien an der Universität Jena vielfältig zum Einsatz. Im LICHTGEDANKEN-Schwerpunkt stellen wir eine Auswahl dieser Projekte vor: von Klimaforschung über Geschichtswissenschaft bis zu Chemie und Chirurgie (s. S. 22 ff). In weiteren Interviews und Beiträgen bringen eine Kommunikationswissenschaftlerin (s. S. 36), ein Philosoph (s. S. 40) und ein Forschungsteam aus der Rechtswissenschaft (s. S. 38) ihre ganz eigenen Perspektiven zum Thema ein.

Außerdem stellen die aktuellen LICHTGEDANKEN zwei Wissenschaftlerinnen der Universität in den Fokus, die weit über Jenas Grenzen hinaus wirken: die Pädagogin Mathilde Vaerting, die vor 100 Jahren als erste ordentliche Professorin Deutschlands an die Universität Jena berufen wurde und eine Vorreiterin der Geschlechterforschung war (s. S. 41) und die Rechtswissenschaftlerin Anika Klafki, die während der Corona-Pandemie zur gefragten Expertin für die Medien wurde und jetzt als jüngste Richterin am Thüringer Verfassungsgerichtshof arbeitet (s. S. 42).

Ich wünsche Ihnen eine anregende Lektüre und freue mich wie immer über Feedback, Anregungen oder Kritik. Sie erreichen das Redaktionsteam und mich unter: [presse@uni-jena.de](mailto:presse@uni-jena.de).

Jena, im März 2024



GRAFIK: MIDJOURNEY

SCHWERPUNKT

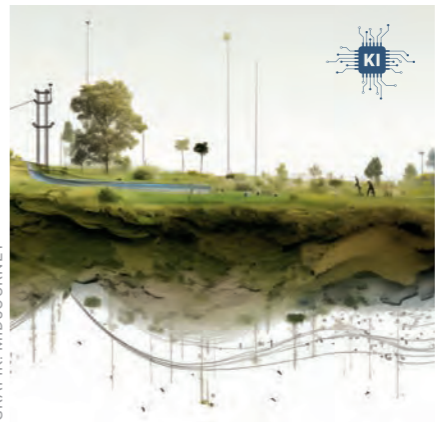
# Von Maschinen und Menschen

- 12 DER TRAUM VON DER MENSCHLICHEN MASCHINE**  
Informatiker und KI-Entwickler Prof. Dr. Joachim Denzler im Interview
- 14 »SAPERE AUDE!«**  
Was Kant im Umgang mit KI zu sagen hat, erläutert Informatiker Prof. Dr. Clemens Beckstein
- 16 WOVON IST DIE REDE?**  
Begriffe zur KI kurz erklärt
- 18 MIT KI DER KLIMAKRISE BEGEGNEN**  
ELLIS Unit Jena verbessert die Vorhersage von Extremwetterereignissen
- 20 IM MASCHINENRAUM**  
Informatik-Team optimiert den »Denkprozess« von KI
- 22 PRAXISBEISPIELE: GESCHICHTSWISSENSCHAFT BIS TUMOR-CHIRURGIE**  
Forschende der Universität nutzen KI-Tools und -Methoden für zahlreiche Projekte
- 30 DIGITALE BAUKÄSTEN FÜR DIE VERWALTUNG**  
Nachhaltige digitale Verwaltungsstrukturen mittels KI
- 32 »WIR WOLLEN DEN EINSATZ VON KI ERMÖGLICHEN«**  
Uni-Vizepräsident für Digitalisierung Prof. Dr. Christoph Steinbeck im Interview
- 34 VOM SPIELBRETT ZUM CHEMISCHEN KI-WERKZEUG**  
Die Plattform DECIMER.AI übersetzt Strukturformeln in maschinenlesbare Codes
- 36 WIE KI KOMMUNIKATION VERÄNDERT**  
Prof. Dr. Edda Humprecht spricht über KI und Soziale Medien
- 38 WEM GEHÖREN KI-GENERIERTE WERKE?**  
Wie generative Tools das Urheberrecht herausfordern
- 40 OHNE BEWUSSTSEIN UND VERNUNFT**  
Warum KI ein Werkzeug ist und nicht nach »Weltherrschaft« verlangt



FOTO: JENS MEYER

**07** | EXZELLENZSTRATEGIE  
**»IMAGINAMICS«  
IM FINALE**



GRAFIK: MIDJOURNEY

**28** | KI-PRAXISBEISPIEL  
**AM PULS DER  
ERDE**



FOTO: JENS MEYER

**41** | DAS KALENDERBLATT  
**MATHILDE VAERTINGS  
ANTRITTSVORLESUNG**



FOTO: ANNE GÜNTHER

**42** | PORTRÄT  
**PANDEMIE-EXPERTIN  
ANIKA KLAFKI**

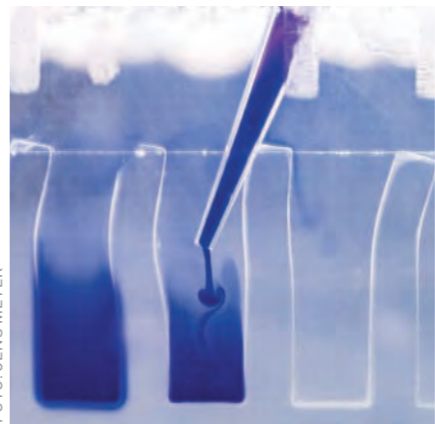


FOTO: JENS MEYER

**46** | KREBSFORSCHUNG  
**TUMORZELLEN AM  
WACHSEN HINDERN**



FOTO: MARGAULT DEMASLE

**60** | HINTER DEN KULISSEN  
**ARBEITSPLATZ  
SEGELSCHIFF**

NACHRICHTEN  
**06** | Aktuelles aus dem Uni-Alltag

NACHGEDACHT  
**09** | Das Ende der Neutralität?

SCHWERPUNKT  
**10** | Von Maschinen und Menschen

DAS KALENDERBLATT  
**41** | Ihrer Zeit voraus

PORTRÄT  
**42** | »Man muss sich selbst ins Spiel bringen«

TICKER  
**44** | Forschung kurz und knapp

THEMEN  
**46** | »PAPAS« bremst Brustkrebszellen aus  
**48** | Alter ist auch Ansichtssache  
**50** | Hanf hilft heilen

**52** | Glas trennt Gas – ein Filter für CO<sub>2</sub>  
**54** | Trügerische Erinnerungen  
**56** | Schwimmblase oder Lunge?

PROJEKTE  
**58** | Kooperationen und Förderungen

HINTER DEN KULISSEN  
**60** | Forschung mit Tiefgang

## Der europäische Campus wächst

Universität Jena erhält insgesamt 2,3 Millionen Euro Förderung für den weiteren Ausbau der Internationalisierung



»EC2U«, das sind die Universitäten in Jena, Coimbra (Portugal), Alexandru Ioan Cuza in Iași (Rumänien), Pavia (Italien), Poitiers (Frankreich), Salamanca (Spanien), Turku (Finnland) und Linz (Österreich). · Foto: Jens Meyer

Die Universität Jena kann dank neuer Förderungen ihre internationalen Aktivitäten in den nächsten vier Jahren fortführen und ausbauen: Seit 2020 gehört sie der Allianz »Europäischer Campus der Stadt-Universitäten« (EC2U) an. Die EU fördert die Allianz nun bis Oktober 2027 mit insgesamt 14,4 Millionen Euro, wovon rund 1,6 Millionen Euro nach Jena gehen.

In einem nationalen Begleitprogramm unterstützt der DAAD die von der EU ausgewählten deutschen Hochschulen beim Aufbau der Europäischen Hochschulen. Anfang Januar 2024 ist die vierte Förderrunde des Programms gestartet, in der die Friedrich-Schiller-Universität erneut erfolgreich war. Sie erhält 700000 Euro für die kommenden vier Jahre. AB

## Kultur und Sprache Griechenlands

»Forschungsstelle Bessarion« wurde an der Universität Jena gegründet

Mit dem Ziel, die griechische Kultur und die Vielfalt der griechischen Sprache zu erforschen, ist am 8. November 2023 die »Forschungsstelle Bessarion« gegründet worden. Prof. Dr. Thede Kahl, Professor für Südslawistik, und Dr. Sotirios Rousiakos erforschen mit externen Mitarbeitenden die Dialekte des Griechischen und bislang wenig beachtete Aspekte der griechischen Kultur.

Namensgeber ist Bessarion von Trapezunt, ein byzantinischer Humanist, Theologe, Kirchenpolitiker, Diplomat und Kardinal des 15. Jahrhunderts. Seit 1463 lateinischer Patriarch von Konstantinopel im Exil, erwarb sich Bessarion Verdienste bei der Verbreitung der griechischen Kultur und Sprache in Europa.

»Das Griechische kennt etwa zehn Dialekte, die sich zum Teil so stark unterscheiden, dass sie beinahe als

eigenständige Sprachen gelten können«, sagt Prof. Kahl. Dieser Befund sei durchaus nicht verwunderlich, da sich griechische Siedlungen schon in vorchristlicher Zeit weit verstreut in der Mittelmeerregion befanden.

### Die Vielfalt der Dialekte aufnehmen und bewahren

Um die Vielfalt des Griechischen zu bewahren, müsse das Ansehen der Dialekte und Mundarten verbessert werden, sagt Thede Kahl. »Wir interviewen Sprecherinnen und Sprecher und archivieren die Aufnahmen« – mit dem Ziel, die Sprachvarietäten zu bewahren und zugleich zugänglich zu machen.

Ein weiteres Aufgabenfeld der neuen Forschungsstelle ist die Geschichte der Griechen in der spätosmanischen Zeit in Kleinasien. sl



Screenshot aus dem Film · Foto: Jens Meyer

### Microverse-Film

Der Exzellenzcluster »Balance of the Microverse« hat einen 360-Grad-Film entwickelt und stellt diesen Planetarien weltweit zur Verfügung. Der Film trägt den Titel »Karl und Karla im Mikroversum: Eine Reise durch die faszinierende Welt der Mikroben«.

Der 15-minütige Film ist in englischer und deutscher Sprache als Download verfügbar unter: [microverse-cluster.de/en/outreach.html](https://microverse-cluster.de/en/outreach.html). Nieber



FOTO: ANNA SCHROLL

## In der Finalrunde des Exzellenz-Wettbewerbs

Das Projekt »Imaginamics. Praktiken und Dynamiken sozialen Imaginierens« der Universität Jena wird bis August 2024 zum Vollartrag für einen Exzellenzcluster ausgebaut.

Die Universität Jena steht mit einem neuen Projekt und dem bereits existierenden Exzellenzcluster in der Finalrunde des Exzellenz-Wettbewerbs der deutschen Spitzenforschung. Die Universität hatte drei neue Anträge für Exzellenzcluster eingereicht, von denen nun das Projekt »Imaginamics« zum Vollartrag ausgebaut werden darf. Zusätzlich kann sich der seit 2019 bestehende Jenaer Exzellenzcluster »Balance of the Microverse« um die weitere Förderung in der Exzellenzstrategie des Bundes und der Länder bewerben. Die Vollarträge müssen bis Mitte August eingereicht werden. Welche Großforschungsprojekte realisiert werden, wird im Mai 2025 bekanntgegeben.

### Gesellschaftliche Konflikte besser verstehen

Aktuelle Debatten, ob zum Klimawandel, zur Demokratie oder zur Pandemie, erwecken den Eindruck, dass Menschen in kaum zu vereinbarenden Vorstellungswelten leben. Diese »sozialen Imaginationen« ringen in dynamischen Prozessen um Geltung und Vorherrschaft.

Solche Bedeutungskämpfe machen den grundsätzlich offenen, aushandlungsbedürftigen und konflikthaften Charakter gesellschaftlichen Zusammenlebens sichtbar. Sie sollen im Projekt



Prof. Dr. Johannes Grave ist einer der Sprecher des Projekts »Imaginamics«. · Foto: Jens Meyer

»Imaginamics. Praktiken und Dynamiken sozialen Imaginierens« umfassend untersucht werden. Das Kunstwort »Imaginamics« aus Imagination und Dynamik zeigt an, dass es dabei um fließende, dynamische Prozesse geht. Diese Dynamiken haben immer auch eine praktische Seite, sie werden von sozialen und politischen Akteuren vorangetrieben. Darum widmet sich das Projekt nicht nur den sozialen Imaginationen als solchen, sondern auch den Praktiken des »sozialen Imaginierens«, aus denen sie hervorgehen.

»Dass das Expertengremium unsere Projektskizze für zukunftsweisend hält und uns besondere Stärken in diesem Forschungsfeld attestiert, freut uns. Nun werden wir uns der Herausforderung widmen, unsere Ideen in einem Vollartrag weiter auszuarbeiten.

Dass es von zentraler Bedeutung ist, soziale Imaginationen und ihre ganz eigenen Dynamiken besser zu verstehen, zeigen nicht zuletzt viele Diskussionen und Demonstrationen der vergangenen Wochen«, sagt der Kunsthistoriker Prof. Dr. Johannes Grave, der gemeinsam mit der Wissenschaftshistorikerin Prof. Dr. Christina Brandt und dem Historiker Prof. Dr. Joachim von Puttkamer das Sprecherteam von Imaginamics bildet.

### Auch der Exzellenzcluster »Balance of the Microverse« in der zweiten Antragsrunde

Bereits bestehende Exzellenzcluster können direkt einen Vollartrag stellen. Und so wird sich der seit 2019 geförderte Exzellenzcluster »Balance of the Microverse« um die weitere Förderung bewerben. Das Großforschungsprojekt hat sich den Mikroorganismen verschrieben. Ziel ist es, die dynamischen Gleichgewichte mikrobieller Gemeinschaften von der molekularen Ebene bis hin zu komplexen Ökosystemen zu erforschen. Darauf aufbauend werden neue Technologien entwickelt, die diese Gleichgewichte gezielt erhalten und wiederherstellen können. Amtierende Sprecherin des Jenaer Exzellenzclusters ist die Professorin für Aquatische Geomikrobiologie, Prof. Dr. Kirsten Küsel. AB

## Neu im Uni-Rat

Der Senat der Universität Jena hat im November 2023 einen neuen Universitätsrat gewählt. Als neues externes Mitglied ist die Generalsekretärin der Leibniz-Gemeinschaft, Dr. Bettina Böhm (Foto), in das Gremium eingezogen. Die Rechtswissenschaftlerin war im Justizariat an der Universität Bielefeld sowie als Dezernentin und ständige Vertreterin des Kanzlers an der TU Dortmund tätig, bevor sie 2004 die erste Kanzlerin der Westfälischen Wilhelms-Universität Münster wurde. Seit 2018 ist sie Generalsekretärin der Leibniz-Gemeinschaft. JK



FOTO: LEIBNIZ-GEMEINSCHAFT

## Tierschutzpreis

Zwei Wissenschaftlerinnen des Uniklinikums Jena sind im Oktober 2023 mit dem Thüringer Tierschutzpreis ausgezeichnet worden: Dr. Lara Thieme und PD Dr. Stefanie Deinhardt-Emmer entwickeln und wenden bei ihrer Arbeit in der Infektionsforschung Methoden an, die zur Verringerung von Tierversuchen beitragen.

Während Lara Thieme Larven der Großen Wachsmotte nutzt, um die Wirksamkeit von Antibiotikakombinationen bei Bakterieninfektionen zu testen, entwickelt Stefanie Deinhardt-Emmer ein Infektionsmodell mit menschlichem Lungengewebe zur Erforschung von Virusinfektionen.

Der Thüringer Tierschutzpreis wird jährlich vom Ministerium für Arbeit, Soziales, Gesundheit, Frauen und Familie vergeben. vdG



FOTO: JENS MEYER

## Erster »Deutschland-Monitor«

Forschungsteam aus Jena, Halle und Mannheim startet nach dem Vorbild des »Thüringen-Monitors« in die Pilotphase zu bundesweiten Befragungen der Bevölkerung und legt erste Ergebnisse vor

Ziel des 2023 gestarteten Deutschland-Monitors ist es, durch regelmäßige Datenerhebungen und vergleichende Analysen, Erkenntnisse über kurzfristige Veränderungen der gesellschaftlichen Stimmungslagen sowie deren Konstanz und Wandel im Laufe der Zeit zu gewinnen.

Dem Vorbild des Thüringen-Monitors folgend, sollen die Ergebnisse der jährlichen Befragung einerseits Politik und die Öffentlichkeit informieren sowie andererseits eine Basis für wissenschaftliche Analysen und Debatten bilden. Das Verbundprojekt wird gemeinsam an den Standorten Jena, Halle/Saale und Mannheim durchgeführt und ist in Jena am Institut für Politikwissenschaft und dem KomRex angesiedelt.

### Ost-West-Unterschiede schmelzen

Einer der Hauptbefunde der Ende Januar 2024 vorgelegten ersten Ausgabe des Deutschland-Monitors zeigt, dass sich Menschen in Ost- und Westdeutschland oder Menschen auf dem Land und aus der Stadt in der Bewertung ihrer Lebensqualität kaum unterscheiden.

Als zentrale Herausforderungen vor Ort gelten in Stadt und Land die Verfügbarkeit bezahlbaren Wohnraums, der Fachkräftemangel sowie der zunehmende Gegensatz zwischen Arm und Reich. In strukturschwachen ländlichen Regionen – verstärkt in Ostdeutschland – wird die Abwanderung junger Menschen als besondere Herausforderung problematisiert.

### Wohn- und Lebensumfeld beeinflusst politische Einstellung

Für die Entwicklung politischer Einstellungen sind individuelle Merkmale und gleichzeitig auch das Wohn- und Lebensumfeld entscheidend. Menschen in Ostdeutschland fühlen sich doppelt so häufig abgehängt wie Menschen in Westdeutschland. Außerdem haben in Ostdeutschland mehr Menschen den Eindruck, dass sich die Politik nicht ausreichend für ihre Region interessiert und sich zu wenig für deren wirtschaftliche Entwicklung einsetzt. Menschen in strukturschwachen Regionen in Ost und West fühlen sich stärker abgehängt als Menschen in strukturstarke Regionen. PM

## Das Ende der Neutralität?

Kriegerische Auseinandersetzungen, Klimawandel, Flucht und Migration – auch nach der Corona-Pandemie prägen vielfältige Krisen unsere Welt. Populisten nutzen die Verunsicherung und versprechen einfache Lösungen, die den gesellschaftlichen Zusammenhalt oder gar die Demokratie gefährden. Auf der Suche nach Orientierung und Halt stehen Hochschulen zunehmend im Fokus, gefordert, nicht nur rasch und mit wissenschaftlicher Expertise, sondern auch als Organisation mit klarer Haltung zu kommunizieren.

KOMMENTAR: KATJA BÄR

Die Universität Jena wurde in den vergangenen Jahren immer wieder aufgefordert, öffentlich Stellung zu beziehen: nach der Invasion russischer Truppen in die Ukraine, nach dem gewaltvollen Tod der 22-jährigen Mahsa Amini im Iran, nach den Erdbeben in der Türkei und in Syrien und nicht zuletzt nach den Correctiv-Enthüllungen zu Jahresbeginn.

### »Sind sie zu bunt, bist du zu braun«

In der Kommunikationswissenschaft ist das Phänomen nicht neu. Haltungskommunikation wird die Strategie genannt, mit der Unternehmen, Marken oder Führungskräfte sich zu sozialen, ethischen oder politischen Fragen positionieren. Fisherman's Friend setzte bereits 2015 mit der Kampagne »Sind sie zu bunt, bist du zu braun«, ein Zeichen für Toleranz und Vielfalt. Von den Berliner Verkehrsbetrieben über Getränkehersteller wie Fritz Cola bis hin zu Supermarktketten wie Edeka – in Unternehmen wird Haltungskommunikation zunehmend als Bestandteil der Unternehmensstrategie angesehen. Immer mehr Konsumenten erwarten von Marken nicht nur Qualität, sondern auch einen Beitrag zu sozialen oder ökologischen Zielen. Ermutigt, gesellschaftliche Verantwortung zu übernehmen, äußern sich nicht nur Leitungen, sondern auch Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter als »Corporate Influencer« zu Unternehmenswerten wie Nachhaltigkeit und Diversity entlang ihres Leitbildes.

Universitäten dagegen blieben lange Zeit selbstgewählt leitbildlos und die politische Kommunikation der Forschenden ist aufgrund ihrer Wissenschaftsfreiheit individuell begründet. »Ist nicht schon die Prämisse, daß ein unübersichtliches Gebilde wie das moderne Hochschulsystem von der gemeinsamen Denkungsart ihrer Mitglieder durchdrungen und getragen werden müsse, unrealistisch?«, fragte Jürgen Habermas schon 1986 anlässlich der 600-Jahrfeier der Universität Heidelberg<sup>[1]</sup>. Die historische »Idee der Universität« blieb in den über den Umweg des »New Public Management« in den vergangenen Jahren entstandenen Leitbildern ebenso eine Leerstelle wie eine Haltung.

### »Hippieesk«: das Leitbild der Universität

Das Leitbild der Universität Jena sticht jedoch heraus. Die Universität hat explizit ihre Verantwortung formuliert, sich in öffentliche Debatten einzumischen, wenn ihre Grundsätze angegriffen werden. Auch wenn in der FAZ der Anspruch und die Werte der Universität Light, Life, Liberty als »hippieesk«<sup>[2]</sup> verspottet wurden, so definieren sie eine neue Idee der Universität, die sich als Ort der Freiheit, Vielfalt, Inklusion und Toleranz versteht und in Verteidigung ihrer Grundsätze politisch handelt<sup>[3]</sup>. Im partizipativen Prozess der Leitbildentwicklung wurde beschlossen, rassistische Diskriminierung als Beispielfall zu nennen, bei dem die Universität sich positionieren muss.



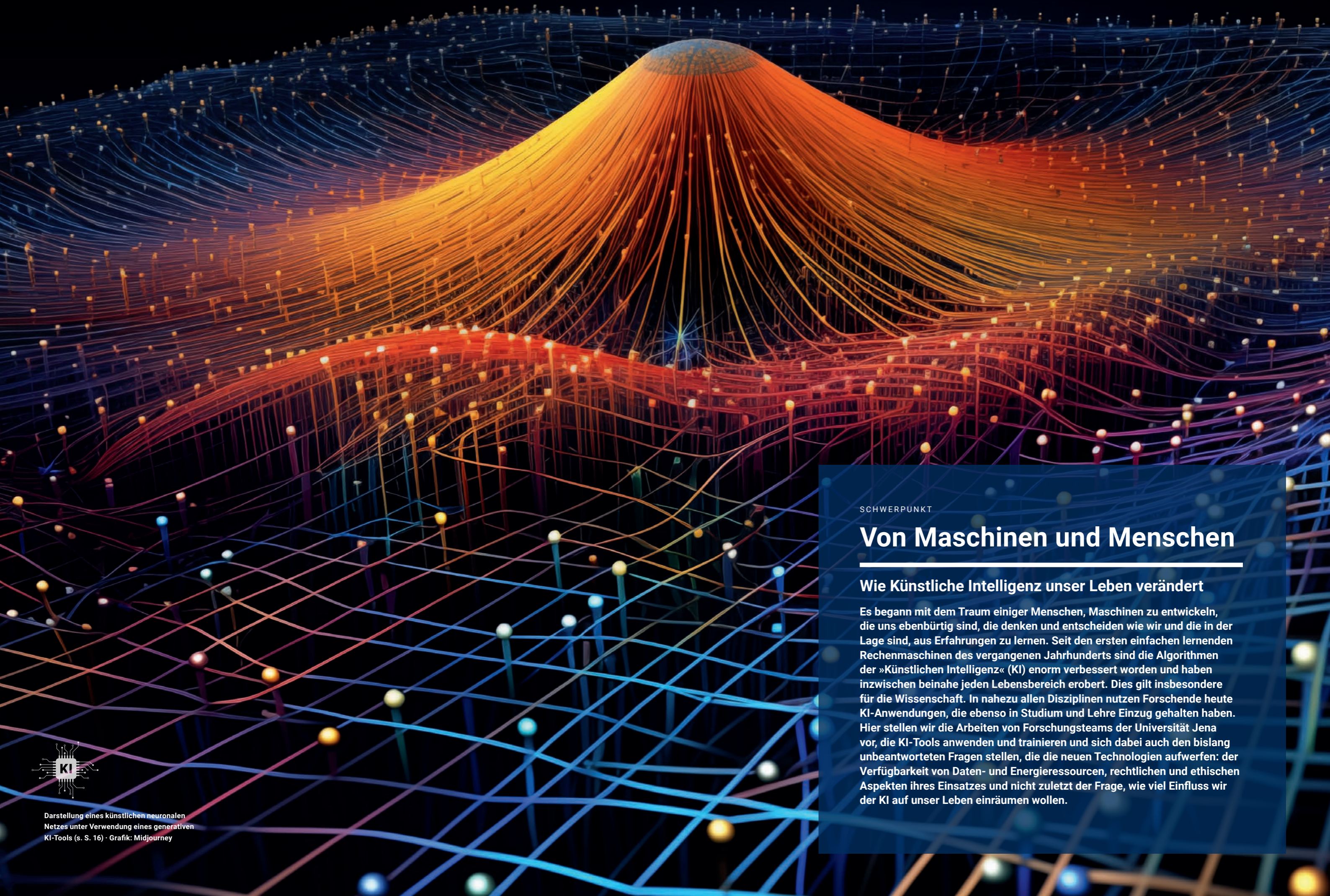
Katja Bär ist CCO der Universität Jena und Vorsitzende des Bundesverbandes Hochschulkommunikation e. V. · Foto: Jens Meyer

Der Senat und das Präsidium der Universität Jena haben nicht als einzige entschieden, sich an Initiativen für Weltoffenheit wie »weltoffenes Thüringen« oder #Zusammenland zu beteiligen. Auch andernorts treten Universitäten für die Werte dieser neuen politischen Universität ein. Hochschulleitungen in Deutschland und Österreich rufen in ihren Städten zu Demonstrationen auf und sprechen sich gegen Fremdenfeindlichkeit aus. An der Universität Jena hat die Leitung die Sicherheit, dass ihre Universität die parteipolitische Neutralität der öffentlichen Einrichtung nicht mit politischer Enthaltensamkeit verwechselt. Auch die Hochschulkommunikation, die täglich in den Sozialen Medien die Werte der Universität und die freiheitlich-demokratische Grundordnung verteidigt, kann sich dabei auf das Leitbild beziehen. Dennoch muss die Haltung der Universität bei jeder Positionierung neu gefunden werden. Dazu ist mitunter ein möglichst breiter Austausch notwendig, weshalb sich allzu schnelle Reaktionen bei komplexen Themen verbieten. Das Leitbild verleiht zudem kein allgemeinpolitisches Mandat, sondern das politische Sprechen und Handeln bleibt auf die Universität bezogen. Klar ist: Man kann nicht nur nicht kommunizieren, sondern auch nicht ohne Haltung sein. Auch Schweigen ist eine Haltung und will wohlüberlegt sein. ■

[1] Zeitschrift für Pädagogik 32 (1986) 5, S. 704

[2] FAZ, <https://www.faz.net/-in9-ajgmh>

[3] DUZ Wissenschaft & Management 07/2021



SCHWERPUNKT

## Von Maschinen und Menschen

### Wie Künstliche Intelligenz unser Leben verändert

Es begann mit dem Traum einiger Menschen, Maschinen zu entwickeln, die uns ebenbürtig sind, die denken und entscheiden wie wir und die in der Lage sind, aus Erfahrungen zu lernen. Seit den ersten einfachen lernenden Rechenmaschinen des vergangenen Jahrhunderts sind die Algorithmen der »Künstlichen Intelligenz« (KI) enorm verbessert worden und haben inzwischen beinahe jeden Lebensbereich erobert. Dies gilt insbesondere für die Wissenschaft. In nahezu allen Disziplinen nutzen Forschende heute KI-Anwendungen, die ebenso in Studium und Lehre Einzug gehalten haben. Hier stellen wir die Arbeiten von Forschungsteams der Universität Jena vor, die KI-Tools anwenden und trainieren und sich dabei auch den bislang unbeantworteten Fragen stellen, die die neuen Technologien aufwerfen: der Verfügbarkeit von Daten- und Energieressourcen, rechtlichen und ethischen Aspekten ihres Einsatzes und nicht zuletzt der Frage, wie viel Einfluss wir der KI auf unser Leben einräumen wollen.



Darstellung eines künstlichen neuronalen  
Netzes unter Verwendung eines generativen  
KI-Tools (s. S. 16) - Grafik: Midjourney

# Der Traum von der menschlichen Maschine

Künstliche Intelligenz – meist nur kurz KI – ist in aller Munde. Spätestens seit generative KI-Tools wie ChatGPT für jedermann frei zugänglich sind, rückt das Thema KI vielen Menschen ins Bewusstsein. Dabei steckt KI schon längst in vielen alltäglichen Anwendungen: in Sprachassistenten, in Tools zur Bilderkennung oder Apps, die auf den persönlichen Geschmack zugeschnittene Buch- oder Filmempfehlungen geben. Doch wie »intelligent« ist KI wirklich? Was kann sie leisten und was (noch) nicht? Darüber spricht Informatiker und KI-Entwickler Prof. Dr. Joachim Denzler im Interview.

INTERVIEW: UTE SCHÖNFELDER

## Was ist mit KI überhaupt gemeint?

Der Begriff der »Künstlichen Intelligenz« ist schon sehr alt. Er stammt aus den 1950er Jahren und bezeichnete ursprünglich die Idee, Maschinen zu entwickeln, die wie Menschen agieren können und auch die gleiche Leistungsfähigkeit besitzen wie Menschen. Wie wir wissen, gibt es solche Maschinen bis heute nicht. Und es wird sie auch so schnell nicht geben.

## Trotzdem reden wir mehr denn je über KI.

Ja, nur wir bezeichnen damit etwas anderes. Aus der ursprünglichen Idee heraus, den Menschen nachzubilden, hat man in den 1960er Jahren angefangen, die Grundstrukturen des menschlichen Gehirns nachzubauen: künstliche neuronale Netze (s. S. 16). Damit hat man große Fortschritte beispielsweise in der Mustererkennung und im Maschinellen Lernen machen können, aber an echte KI ist man damit nicht herangekommen.

Mittlerweile gibt es sogenannte tiefe neuronale Netze (s. S. 16), das so genannte Deep Learning, die sehr leistungsfähig sind. Im Volksmund setzt man deren Leistungsfähigkeit mit dem Begriff KI gleich.

## Handelt es sich dabei nicht um »echte« KI?

Nein. Deshalb nennen wir diese Formen »schwache KI«. Darunter fallen eigentlich alle heute verfügbaren KI-



Prof. Dr. Joachim Denzler ist Spezialist für Computer Vision und hat eine KI mitentwickelt, die den emotionalen Gesichtsausdruck von Menschen automatisch erfasst (kleines Bild). • Foto: Anne Günther

Tools und -Technologien, von der Mustererkennung, über die statistische Analyse von Daten, Maschinelles Lernen (s. S. 16) und Deep Learning, bis zu autonomen Fahrzeugen oder Sprachassistenten.

Das sind alles Maschinen für definierte Aufgaben, die aber eben nur für diese Aufgaben geeignet sind. Zwar können

wir heute immer mehr Aufgaben in solche Systeme integrieren und die Prozesse laufen mittlerweile sehr schnell und effizient ab, wodurch die Illusion entstehen kann, es handele sich um echte Intelligenz. Aber im Grunde bewegen wir uns immer noch im Bereich des Maschinellen Lernens und damit im Bereich der schwachen KI.

## Wie wird »starke KI« aussehen und wann werden wir über sie verfügen?

Im Gegensatz zu der gerade beschriebenen schwachen KI, die für bestimmte Aufgaben eingesetzt wird, ist die starke KI universell einsetzbar. Sie kann praktisch jedes Problem lösen und das mindestens so gut wie der Mensch. Das bedeutet, sie kann eigenständig, flexibel und vorausschauend agieren. Allerdings wird diese »starke« KI wohl noch eine Weile auf sich warten lassen.

## Wie versucht man sich ihr anzunähern?

Ein Weg, der momentan beschritten wird, ist die Entwicklung von KI-Modellen, die mit ganz verschiedenen Modalitäten trainiert werden. So wie wir Menschen über unterschiedliche Sinnesorgane verfügen, die unser Gehirn mit unterschiedlichen Reizen »füttern«, wird versucht, KI mit verschiedenartigen Text-, Bild-, Sensor-Daten zu trainieren, um ihr immer komplexeres »Wissen« zu vermitteln. Voraussetzung für starke KI wäre aber, dass die Maschine sich quasi eigenständig Wissen erwirbt und das auch auf andere Themenbereiche übertragen und anwenden kann.

Mit solchen Modellen wird man weitere große Fortschritte machen können, aber ob das schon der Schritt zur starken KI ist? Ich denke, eher nicht.

## Inwieweit befassen Sie sich in Ihrer eigenen Arbeit mit KI?

Mein Team und ich, wir entwickeln selbst künstliche neuronale Netze. Ein Thema, mit dem wir uns dabei aktuell beschäftigen, ist die sogenannte kausale Inferenz. Wir versuchen also den Maschinen das »Ursache-Wirkungs-Prinzip« beizubringen. Das heißt, KI soll nicht nur statistische Zusammenhänge in Datensätzen aufspüren, sondern herausfinden, wie diese ursächlich miteinander korrelieren. Zum Beispiel besteht ein Zusam-

menhang zwischen dem Verkauf von Eiscreme und der Nutzung von Klimaanlage. Das eine hat trotzdem mit dem anderen nichts zu tun, sondern ursächlich dafür ist die Außentemperatur.

## Wie gehen Sie dabei vor?

Zunächst sieht das genauso aus, wie KI bisher funktioniert: Wir trainieren KI-Modelle mit bekannten Ursache-Wirkungsprinzipien aus den jeweiligen Anwendungsbereichen. Solche hybriden Modellierungsverfahren setzen wir beispielsweise im Rahmen der ELLIS Unit ein (s. S. 18). Später sollen die Maschinen jedoch selbst Korrelation von Kausalität unterscheiden können. Wir als Menschen finden das in der Regel heraus, indem wir in ein System eingreifen. Wenn ich zum Beispiel wissen möchte, ob es in meinem Arbeitszimmer warm ist, weil ich die Heizung aufgedreht habe oder vielleicht, weil die Sonne durch das Fenster scheint, kann ich das herausfinden, in dem ich zunächst die Heizung abschalte und prüfe, ob sich die Raumtemperatur dadurch verändert. Oder ich verdunkele das Fenster und schaue, was passiert.

Um neuronalen Netzen ein Verständnis für Ursache und Wirkung beizubringen, nutzen wir Zeitreihen von Daten, beispielsweise die Wasserpegel in Flüssen (s. S. 28). Die hängen von Wasserständen ihrer Zuflüsse und weiteren Faktoren ab. Diesen Zusammenhang versuchen wir der Maschine beizubringen, indem wir die Zeitreihen verändern. Daran kann das Modell lernen, ob eine Variable auf andere Variablen Einfluss nimmt oder nicht.

## Welche Herausforderungen und Limitierungen sehen Sie beim Einsatz von KI?

Neben der technologischen Umsetzung, über die wir gerade schon gesprochen haben, sehe ich als Herausforderung den enorm hohen Ener-

giebedarf von solchen Systemen. Das heutige Rechenparadigma, das die Systeme immer weiter wachsen müssen, um leistungsfähiger zu werden, lässt den Energieverbrauch inschier Unermessliche steigen. Angesichts begrenzter Ressourcen und des Klimawandels ist das ein Problem, was wir unbedingt lösen müssen.

Ein weiterer Aspekt sind ethische Fragen. Schon heutige KI-Modelle sind so komplex, dass sie kein Mensch mehr vollständig versteht. Daraus ergibt sich die Frage nach der Glaubhaftigkeit der Ergebnisse, die uns eine KI anbietet, und wie wir damit umgehen, etwa im medizinischen Bereich, wenn es um Diagnosen und mögliche Therapieoptionen geht.

Aber auch in Gerichtsverfahren kommt teilweise schon KI zum Einsatz. In den USA wurde die Rückfallwahrscheinlichkeit von Straftätern mittels KI-Modellen bewertet. Da erhalten Personen aufgrund ihrer Zugehörigkeit zu einer bestimmten Ethnie eine andere Bewertung als andere und da bewegen wir uns in ethisch doch sehr kritischen Bereichen.

## Was glauben Sie, was KI nie können wird?

Da wage ich lieber keine Prognose. Hätten Sie mich vor zehn Jahren gefragt, ich hätte die heute erreichten Entwicklungen nicht für möglich gehalten. Ich denke, dass wir uns auch jetzt noch gar nicht vorstellen können, was sich in den kommenden Jahren entwickeln wird. Deswegen bin ich mit einer solchen Prognose sehr vorsichtig.

## Welches KI-Tool oder welche KI-Technologie wünschen Sie sich persönlich?

Eigentlich das, was ursprünglich einmal mit KI gemeint war: eine Art persönlichen Assistenten, eine Maschine, die mich bei allen Dingen im Alltag unterstützen kann. Das wäre schon praktisch. ■

## »Sapere aude!«

Der aktuelle Hype um KI-Tools wie ChatGPT kann leicht darüber hinwegtäuschen, dass das Thema KI bereits eine lange Geschichte hat. Nicht nur in der Wissenschaft, auch in der Wirtschaft, der Medizin, der Verwaltung und nicht zuletzt im Alltag der meisten Menschen haben sich Technologien aus der KI bereits fest etabliert. Was generative KI wie ChatGPT auszeichnet und warum das Text-Werkzeug vor allem mit menschlicher Intelligenz arbeitet, das erklärt Prof. Dr. Clemens Beckstein im Interview. Der Informatiker verrät zudem, was Immanuel Kant uns im Umgang mit KI lehren kann.

INTERVIEW: UTE SCHÖNFELDER

**Sie sind Professor für praktische Informatik mit der Zusatzbezeichnung »Künstliche Intelligenz«. Wie definieren Sie für Ihr Fachgebiet den Begriff »Intelligenz«?**

Als Informatiker käme ich nie auf die Idee, den Begriff »Intelligenz« definieren zu wollen. Was ich aber sagen kann, ist, wie der Ausdruck »Künstliche Intelligenz« meiner Ansicht nach sinnvoll zu gebrauchen ist: als Synonym für die Digitalisierung von Bereichen in Gesellschaft, Wirtschaft, Kultur und Wissenschaft, die zuvor ohne Computer funktioniert haben und die so komplex sind, dass man ihnen das Attribut »intelligent« zuschreibt. KI ist ein Zuschreibungsbegriff, dessen Bedeutung sich ständig und in dem Maß ändert, wie wir Fortschritt beim Bau digitaler, programmierbarer Systeme machen. Das, was wir vor 20 oder 30 Jahren als KI bezeichnet haben, zum Beispiel Sprachassistenten oder Roboter, ist etwas anderes als das, was wir heute darunter verstehen. In diesem Sinne sehe ich KI als eine Art »Moving Target«.

**Mit welcher Form von KI befassen Sie sich in Ihrer Arbeit?**

Hauptsächlich mit klassischer, symbolischer KI (s. S. 16), etwa symbolischer Wissensrepräsentation und -verarbeitung, intelligenter Computerunterstützung des wissenschaftlichen Forschungsprozesses, algo-

rithmischer Netzwerkanalyse, aber auch wissenschaftstheoretischen und philosophischen Aspekten der KI. Aktuell fokussieren sich mein Team und ich auf den Einsatz von KI-Techniken für die Digitalisierung und Modellierung des geisteswissenschaftlichen Forschungsprozesses. Dazu arbeiten wir in einem fakultätsübergreifenden Forschungsteam mit Namen MEPHisto zusammen (Digital Models, Explanations and Processes in the Historical Sciences) (s. S. 22).

**Wie funktionieren KI-Tools überhaupt, zum Beispiel ChatGPT?**

Es gibt inzwischen sehr viele, sehr verschiedene KI-Systeme und alle arbeiten unterschiedlich. Das Sprachmodell ChatGPT ist ein Software-Werkzeug, das Texte assoziiert. Technisch gesehen ist ChatGPT im Prinzip nichts anderes, als eine gigantische, algorithmisch komprimierte Assoziations-Tabelle, die aus zwei Textspalten besteht. In der einen sind sämtliche denkbaren Anfragen bzw. »Prompts« aufgelistet und in der zweiten die dazu jeweils am besten passenden Antworten.

Zur Erzeugung dieser Tabelle wird auf der Grundlage von einer enorm großen Menge an veröffentlichten digitalen Texten für einen beliebigen Diskursverlauf ausgerechnet, mit welcher Wahrscheinlichkeit ein sprachlich theoretisch mögliches Wort das

nächste, von ChatGPT geäußerte Wort im Diskursverlauf sein sollte. Das zugehörige statistische Modell nennt man Sprachmodell oder Generative Pretrained Transformer (GPT).

**Und wie intelligent ist ChatGPT?**

Nur so intelligent, wie die Menschen, die das Modell entwickeln, feintunen und nutzen. Von sich aus ist ChatGPT absolut nicht intelligent. Es verfügt ja über keinerlei individuelles Gedächtnis und kann auch nichts selbstständig dazulernen.

Aber in ChatGPT steckt dafür sehr viel menschliche Intelligenz: das digitalisierte, verschriftlichte, kulturelle Erbe der Menschheit sowie Unmengen an Daten, die von Menschen für den Bau von ChatGPT aus dem Internet und allen verfügbaren Quellen abgeschnorcht und bei dessen Training sinnvoll gefiltert werden. Menschliche Intelligenz steckt auch in der zugrundeliegenden Technologie und in den öffentlichen Institutionen, die sich durch Vorgabe ethischer und politischer Rahmenbedingungen für eine gesellschaftskonforme Ausrichtung und einen verantwortungsvollen Einsatz von ChatGPT einsetzen.

Erst durch Menschen wird ChatGPT also zu dem, was es ist: einem äußerst belesenen und extrem gut trainierbaren »stochastischen Papagei«, der zwar geschliffen sprechen kann – das Gesprochene aber nicht versteht.

**Dennoch hat sich gerade ChatGPT im vergangenen Jahr enorm weiterentwickelt. Wie schätzen Sie die aktuellen Fortschritte ein?**

Der Grund für die in der jüngsten Zeit erzielten Fortschritte, insbesondere bei den generativen KIs, sind weniger technologische Durchbrüche als vielmehr Skalierungsphänomene. Der Fortschritt entsteht hauptsächlich durch die gewaltig gestiegenen Ressourcen, die man für das Training dieser Systeme einsetzt: immer größere und besser optimierte künstliche neuronale Netze und immer potentere Hardware für deren Simulation auf der einen Seite und auf der anderen Seite der gigantische Umfang an Daten aus nahezu allen Lebensbereichen, die vor allem von den vier großen Playern – Microsoft, OpenAI, Meta und Google – erhoben werden. Wie lange alleine dieses Skalieren noch zu signifikanten Verbesserungen bei den Systemen führen wird, ist jedoch offen.

**Wie verlässlich ist das, was uns ChatGPT und Co. liefern?**

Derzeit eigentlich gar nicht. Wie gerade beschrieben, sind die Ergebnisse, die ChatGPT liefert, rein statistische Aussagen. Die Trefferquote liegt im Augenblick bei rund 80 Prozent. Und das wird sich auch nicht wesentlich ändern, denn wie alle maschinell trainierten Systeme verfügt ChatGPT immer nur über unvollständiges Wissen über das



Informatiker Prof. Dr. Clemens Beckstein befasst sich mit symbolischer KI und darüber hinaus auch mit wissenschaftstheoretischen und philosophischen Aspekten von KI. · Foto: Anne Günther

»richtige« Ergebnis bzw. das »richtige« Verhalten. Alles hängt davon ab, mit welchen Daten es trainiert wurde. Hinzu kommt, dass sich die produzierten Ergebnisse nicht erklären und nachvollziehen lassen sowie Vorurteile und Verzerrungen enthalten.

Problematisch daran sind auch nicht nur die fehlenden technischen Möglichkeiten, »richtiges« Verhalten von »nicht-richtigem« zu unterscheiden. Sondern es handelt sich dabei ja um gesellschaftlich auszuhandelnde und oftmals nicht eindeutig festzulegende Kategorien. Genau genommen entscheiden aktuell die vier großen Player, was »richtig« und was »falsch« ist, weil sie die Daten steuern, mit denen Foundation Models (s. S. 16) wie ChatGPT trainiert werden und weil sie die Standards für das Finetuning setzen, das Vorurteile und Verzerrungen eliminieren soll.

**Wo sehen Sie Regelungsbedarf bezüglich KI?**

Mit der KI ist es wie mit Hunden: Egal, ob sie groß oder klein sind, scharfe oder gar keine Zähne haben – das größte mit Hunden einhergehende Risiko befindet sich meist am anderen Ende der Leine und heißt Mensch. Ich meine damit, dass wir als Gesellschaft dafür verantwortlich sind, dass KI von Politik, Wirtschaft und jedem Einzelnen verantwortungsvoll und verantwortbar eingesetzt wird. In diesem

Zusammenhang bin ich doch ziemlich enttäuscht über den aktuellen europäischen Gesetzentwurf zur Regulierung von KI, weil er vieles ausklammert. Es wird nicht die Technik, sondern die Anwendung von KI reguliert. Zwar ist es natürlich gut, dass zum Beispiel eine biometrische Massenüberwachung oder »social scoring« verboten werden sollen. Darüber besteht aber eigentlich schon lange Konsens. Was mir in dem aktuellen Gesetzentwurf dagegen fehlt, ist eine klare Regulierung der Foundation Models selbst, insbesondere die Transparenz über die verwendeten Daten.

**Gibt es auch auf Nutzerseite Entwicklungsbedarf?**

Dort gibt es meines Erachtens den wichtigsten Entwicklungsbedarf – jedenfalls dann, wenn wir nicht mit einer unreflektierten Nutzung von KI unfreiwillig, aber selbst verschuldet, den Ausgang der Menschheit aus der selbst verschuldeten Unmündigkeit und damit mehr als 200 Jahre Aufklärung leichtsinnig rückabwickeln wollen! Dabei geht es gar nicht darum, neue Kompetenzen erwerben oder entwickeln zu müssen. Wir können uns vielmehr an den großen Aufklärer Immanuel Kant halten, der schrieb: »Sapere aude! Habe Mut, Dich deines eigenen Verstandes zu bedienen!« Das sollten wir konsequent tun, trotz ChatGPT und Co. ■



# Wovon ist die Rede?

Begriffe zur »Künstlichen Intelligenz« (KI) kurz erklärt

## Künstliche neuronale Netze (KNN)

Künstliche neuronale Netze sind von der Arbeitsweise biologischer Nervennetze inspirierte Computermodelle. Sie bestehen aus vielen miteinander verbundenen Knoten (»Neuronen«), die jeweils für sich und abhängig von bestimmten Parametern Berechnungen durchführen und deren Ergebnisse über diese Verbindungen austauschen. Solche Berechnungs-Netzwerke sind dadurch in der Lage, Muster und Beziehungen in Daten zu erlernen und im späteren Betrieb zu erkennen, so dass ein Lernverfahren auf der Grundlage von geeigneten »Trainingsdaten« die Netzparameter systematisch und optimal für diese Aufgabe einstellt. Sie werden vor allem für Bereiche verwendet, in denen symbolische KI-Ansätze an ihre Grenzen stoßen, darunter Bild- und Spracherkennung, Vorhersagemodelle und automatisierte Entscheidungsfindung.

## Generative KI

Unter diesem Begriff werden ML-Modelle zusammengefasst, die neue Inhalte erstellen, wie Texte, Bilder, Audio oder Video. Die Modelle werden dafür mit großen passenden Datenmengen trainiert und »lernen« Inhalte entsprechend diesen Vorlagen nachzuahmen. Zu den generativen KI-Modellen gehören z. B. ChatGPT oder Midjourney, das auch zur Erstellung von Bildern in diesem Heft eingesetzt wurde.

## Deep learning

Unter dem Begriff Deep learning versteht man das Trainieren sehr großer und komplexer Architekturen von KNNs (»tiefe künstliche neuronale Netze«), die aus vielen aufeinanderfolgenden »Neuronen«-Schichten aufgebaut sind und durch diesen hierarchischen Aufbau das Lösen von hochkomplexen Aufgaben ermöglichen. Ein weiterer bedeutender Unterschied zu gewöhnlichen KNNs ist, dass komplexere Muster in den Daten, welche zum Modellieren des Problems notwendig sind, automatisch mit erlernt werden, das sogenannte Repräsentationslernen.

## Symbolische KI

Symbolische (»klassische«) KI repräsentiert Wissen über einen Bereich propositional, d. h. als Sammlung von Aussagen, die für diesen Bereich zutreffen. Die Aussagen selbst werden dabei über bedeutungstragende Symbolstrukturen dargestellt und um Berechnungsregeln ergänzt, die es einem Computer erlauben, damit in klar strukturierten und präzise beschreibbaren Bereichen Probleme ähnlich wie der Mensch zu lösen. Sie findet z. B. Anwendung in Form von sog. Expertensystemen, die Ärztinnen und Ärzte bei der Diagnose von Krankheiten unterstützen. Symbolische KI stößt in Bereichen an ihre Grenzen, für die eine propositionale Beschreibung fehlt und auch der Mensch nur schwer oder gar nicht verbalisieren kann, wie er dort Probleme löst. Sie wird daher oft durch Ansätze wie maschinelles Lernen ergänzt.

## Maschinelles Lernen (ML)

Bei maschinellen Lernverfahren erlernt ein Algorithmus durch Wiederholung, selbstständig eine definierte Aufgabe zu erfüllen. Anstatt einem vorprogrammierten Lösungsweg zu folgen, passen sich ML-Systeme dabei datengetrieben durch mathematische Optimierungsverfahren immer besser an das definierte Ziel an – sie werden »trainiert«.

## Foundation models

Diese Modelle sind künstliche neuronale Netze, die auf sehr großen und vielfältigen Datensätzen mittels ML-Verfahren für eine allgemeine Aufgabe vortrainiert werden. Anschließend können sie mit Hilfe spezialisierter Datensätze für konkrete Anwendungen und Aufgaben optimiert werden (das sogenannte »Finetuning«).

## Large language models (LLMs)

Diese großen rein auf Textdaten trainierten autoregressiven Sprachmodelle, zu denen auch ChatGPT gehört, nutzen Deep-Learning-Algorithmen der Wortvorhersage, um natürliche Sprache zu verarbeiten, zu verstehen und zu generieren. Auf eine gegebene Texteingabe (»Prompt«) werden vom LLM die Folgeworte als Textausgabe generiert. Durch die Komplexität der Architektur von LLMs und die Menge an Texten, mit denen diese trainiert werden, scheinen diese generierten Textausgaben häufig sehr plausibel für den Menschen, sind inhaltlich aber oft falsch.



In einem gemeinsamen Forschungsprojekt untersuchen die Arbeitsgruppe »Paläontologie und Mikropaläontologie« der Universität Jena und ein Team der Universität Hongkong die Möglichkeit, winzige Muschelkrebse (Ostrakoden) mittels KI zu identifizieren, zu zählen und auszumessen. In einem ersten Versuch konnte das Team die abgebildete Ostrakoden-Fauna aus dem Großen Stechlinsee in Brandenburg untersuchen. Ostrakoden sind eine sehr diverse Gruppe von mikroskopisch kleinen Krebstieren, die in allen Arten von Gewässern vorkommt. Ihre Kalkschalen bleiben im Sediment lange erhalten. Sie sind daher gute Bioindikatoren und für Umweltanalysen und als Fossilien für die Rekonstruktion von Milieu- und Klimabedingungen geeignet. · Abbildung: Ella Quante

## Mit KI der Klimakrise begegnen

In der ELLIS Unit Jena wird unter der Leitung von Prof. Dr. Markus Reichstein und seinem Kollegen Prof. Dr. Joachim Denzler daran geforscht, Auswirkungen von Extremwetterereignissen mit Hilfe von KI vorherzusagen. So sollen die davon betroffenen Menschen rechtzeitig gewarnt werden können.

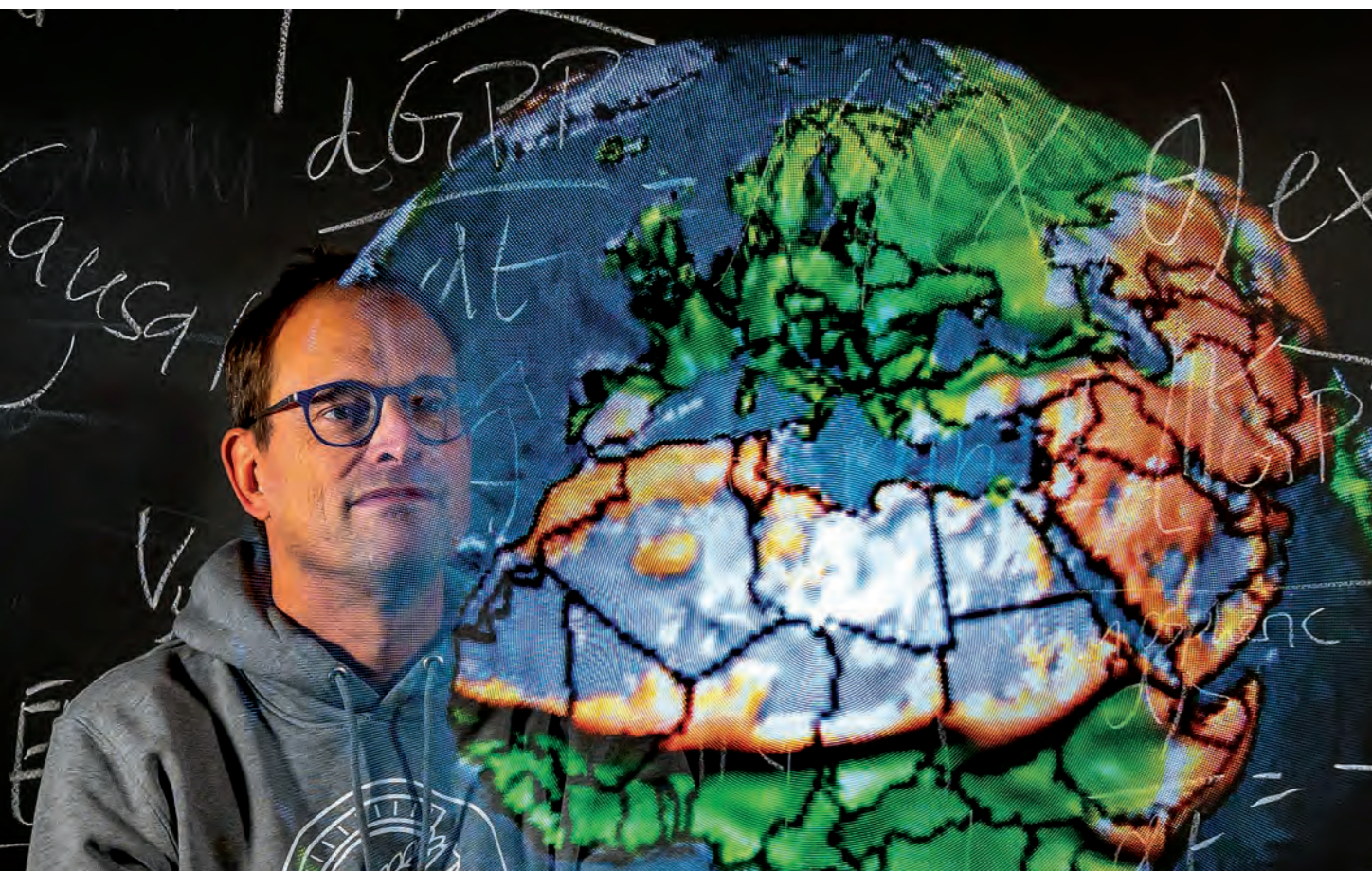
TEXT: MARCO KÖRNER

Damit sich Menschen vor Extremwetterereignissen und deren Folgen rechtzeitig schützen können, müssen diese präzise vorhergesagt werden. Wie Künstliche Intelligenz (KI) entwickelt werden kann, um sich an diese Auswirkungen der Klimaver-

änderung anzupassen, das erforscht die Gruppe von Markus Reichstein. Der Professor für globale Geoökologie der Universität Jena ist Direktor des Max-Planck-Instituts für Biogeochemie und einer der Leiter der ELLIS Unit Jena.

ELLIS, das ist das »European Laboratory for Learning and Intelligent Systems« – ein pan-europäisches Exzellenz-Netzwerk für KI. Der ELLIS Unit Jena gehören seit 2021 mit der Universität, dem Max-Planck-Institut für Biogeochemie und dem Institut für

Prof. Dr. Markus Reichstein und sein Team nutzen KI-Methoden, um aus historischen Klimadaten künftige Wetterereignisse präzise prognostizieren zu können. · Foto: Jens Meyer



Datenwissenschaften des Deutschen Zentrums für Luft- und Raumfahrt drei Forschungseinrichtungen an.

»Beim Thema Klimakrise gibt es zwei Aspekte: Klimaschutz auf der einen Seite und Klimaanpassung auf der anderen«, erklärt Prof. Reichstein. Die Notwendigkeit, sich an den Klimawandel anzupassen, sei bereits real, betont er und nennt die zunehmenden Extremwetterereignisse als ein deutliches Indiz dafür.

### »Game-Changer« in der Wettervorhersage

In der KI sieht Reichstein dabei einen »Game-Changer«: »Bestimmte Situationen wie Feuer oder lokale Überflutungen sind so komplex, dass sie sich nicht leicht mit physikalischen Modellen vorhersagen lassen. Das können wir aber mit KI prognostizieren«, erklärt er. »KI-Methoden wie Maschinelles Lernen können Muster in historischen Klimadaten erkennen – von Satellitenbildern bis hin zu Temperaturmessungen – und daraus zukünftige Ereignisse mit größerer Genauigkeit abschätzen. Und wir haben nun den Vorteil, dass es recht viele Daten gibt.« Als Beispiel nennt Reichstein Satellitendaten, die für einzelne Regionen etwa Vegetation, Temperatur, Feuchtigkeit und Weiteres über Jahre und Jahrzehnte hinweg abbilden.

»Damit trainieren wir ein künstliches Denkmodell und sagen diesem zum Beispiel, wie diese bestimmte Landschaft aussieht. Daraus lässt sich mit Hilfe der KI dann zu jeweiligen Wetterlagen prognostizieren, ob und wo es zu Überflutungen, zu Trockenheit oder auch zu Bränden kommen könnte.«

Dass die jeweiligen Auswirkungen des Klimawandels regional sehr unterschiedlich sind, spielt in der Forschung der ELLIS Unit eine wichtige Rolle. »Die regionalen Variationen sind entscheidend, um zu verstehen, wie unterschiedliche Ökosysteme und geografi-

sche Gebiete auf Klimaveränderungen reagieren«, sagt der Forscher und illustriert dies anhand eines Beispiels:

»Ein paar Monate vor dem großen Niederschlagsereignis im Ahrtal im Juli 2021 sind ähnlich starke Niederschläge in der Uckermark in Norddeutschland gefallen. Doch dort ist relativ wenig passiert. Der Grund sind die sandigen Böden und der weiche Untergrund, das Wasser konnte relativ gemächlich abfließen.«

An diesem Beispiel zeige sich, so erklärt er, wie wenige Faktoren entscheiden können, ob es zur Katastrophe kommt – oder eben nicht. »Und hier stoßen klassische physikalische Modelle an ihre Grenzen, denn letztendlich muss jeder infrage kommende Faktor bekannt sein und berücksichtigt werden.« KIs dagegen erkennen Muster, ohne dass bekannt sein muss, durch welche einzelnen Faktoren diese Muster entstehen. Das liefere oft nicht nur präzisere Ergebnisse, sondern spare auch Rechenaufwand und damit Zeit und Energie.

»Wir trainieren also die KI zunächst mit Hilfe von Fernerkundungsdaten, beispielweise aus ganz Afrika. Wenn wir uns dann zum Beispiel dafür interessieren, ob es etwa in Ruanda zu Ernteauffällen kommen könnte, dann kann sich die KI Ruanda anschauen. Neben diesen Daten geben wir lokale Informationen dazu, wie den aktuellen Wetterbericht, die Vorhersage für die nächsten Tage oder den Zustand der Vegetation«, führt er aus. »Auf diese Weise können wir uns jede Wettersituation auf dem Globus anschauen und modellieren, welche Auswirkungen entstehen können, beispielsweise Dürren in Ost-Afrika oder Waldbrände, wie wir sie zuletzt in Kanada erlebt hatten.« Allerdings habe die Datengrundlage aus der Fernerkundung auch ihre Grenzen. »Anhand von Mikrowellendaten lässt sich etwa schlussfolgern, ob die Oberfläche des Bodens feucht ist. Über die Tiefe lässt sich damit aber keine Aussage treffen.«

Die prognostizierten Klimadaten und -risiken müssen jedoch auch angemessen kommuniziert werden, damit die Betroffenen sich schützen können. »Die Ergebnisse und damit gegebenenfalls auch die Warnungen und Verhaltensempfehlungen angemessen an die Betroffenen zu vermitteln, ist wahrscheinlich die Hauptaufgabe dabei«, sagt Reichstein. Dies zeige sich beispielsweise in der Herausforderung, komplexe Daten wie erhöhte Flusspegel und deren mögliche Auswirkungen für ein breites Publikum verständlich zu machen, von der betroffenen Bevölkerung bis zu den zuständigen Behörden.

### Komplexe Klimadaten kommunizieren – mit KI

Auch hier spielt KI eine Rolle: »Wir können etwa Prognosen anstellen und verschiedene Szenarien sehr plastisch darstellen«, erklärt Reichstein. »Wir können zum Beispiel mit KI, wie sie auch für die Erzeugung von künstlichen Bildern verwendet wird, anhand von Google Maps oder OpenStreetMap zeigen, wie eine Überflutung in einer Stadt ganz konkret aussehen kann.« Er verdeutlicht, dass ein Unterschied von einem Meter Pegelstand durchaus darüber entscheiden könne, ob ein bestimmtes Haus überflutet wird oder nicht. »Mit KI lässt sich sehr anschaulich zeigen, wer genau von solchen Ereignissen bedroht ist und auch, wie weit das Haus unter Wasser stehen kann«, erklärt er.

Aus der Sicht von Prof. Reichstein gehört daher auch die Vermittlung möglicher Auswirkungen von bevorstehenden Wetterereignissen an die Betroffenen zur Klimaresilienz: »Gerade weil wir möchten, dass die Menschen sich auf konkrete Ereignisse vorbereiten, ist aus meiner Sicht die Kommunikation der Forschungsergebnisse ein wesentlicher Teil der Klimawissenschaft.«

## Im Maschinenraum

Die beeindruckende Welt der KI-Anwendungen funktioniert nur, weil sie von einer breiten technologischen Basis getragen wird. Forschung in diesem Bereich ist zwar weitaus abstrakter, aber dafür umso wichtiger. Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler am Institut für Informatik optimieren nichts weniger als den »Denkprozess« der Künstlichen Intelligenz.

TEXT: SEBASTIAN HOLLSTEIN

Wenn über Künstliche Intelligenz gesprochen wird, dann geht es meist um die faszinierenden Möglichkeiten für scheinbar unzählige Anwendungen. Doch ihr praktischer Nutzen ist nur die Spitze eines technologischen Eisbergs. Unter der Oberfläche verbergen sich ungleich größere Schichten an Infrastruktur – von grundlegenden KI-Modellen über Software bis hin zu Hardware. Das von der Carl-Zeiss-Stiftung geförderte Graduiertenkolleg »Interactive Inference« am Institut für Informatik bildet den Nachwuchs für diesen »KI-Maschinenraum« aus, in dem es massiv an Fachkräften mangelt. »Die technologische Basis für KI findet viel zu wenig Beachtung in der öffentlichen Diskussion, obwohl gerade hier die größte Wertschöpfung steckt«, sagt Prof. Dr. Joachim Giesen, einer der Leiter des Kollegs. »Sowohl die grundlegenden KI-Modelle als auch die Software und Hardware stammen meist nicht mehr aus Europa.« Deshalb sei es wichtig, dass junge Informatikerinnen und Informatiker hierzulande KI-Infrastruktur verstehen, mathematisch analysieren und selbst entwickeln können.

Die Jenaer Forschenden konzentrieren sich besonders auf den, vereinfacht gesagt, »Denkprozess« der KI: die Inferenz. Stellen Nutzende beispielsweise eine Anfrage an ChatGPT, dann generiert eine Software die gewünschte Antwort – in diesem Fall einen Text. Diese Inferenzsoftware wurde in einem Prozess, den man Trainieren nennt, auf einer riesigen Datenbasis gelernt. Ähnlich wie beim Menschen kann der Lernprozess – also das Trainieren der KI – lange dauern, im Fall von großen KI-Modellen durchaus mehrere Monate. Antworten

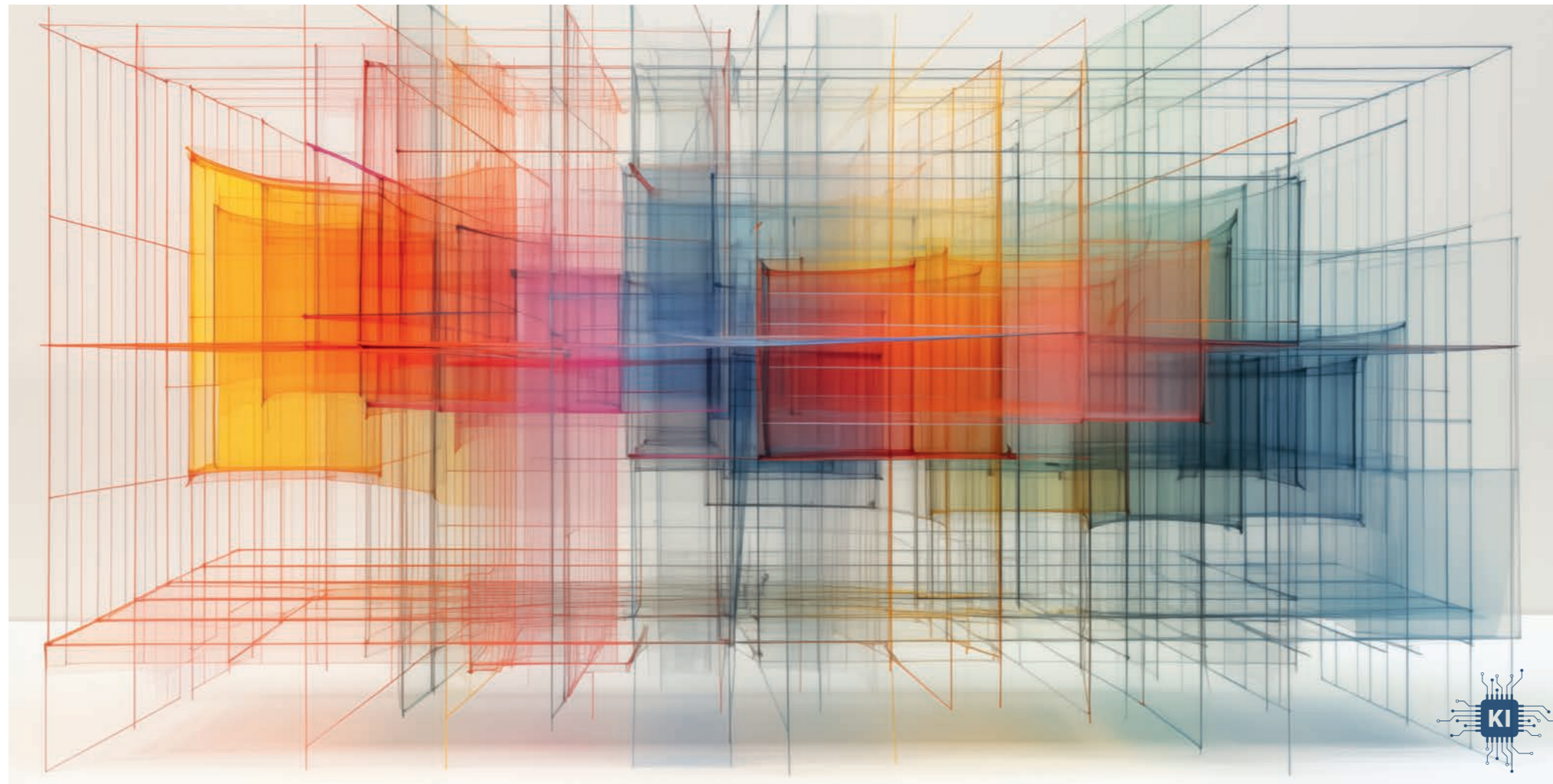


Illustration eines Tensors höherer Ordnung. · Grafik: Midjourney

auf eine Inferenzanfrage sollten jedoch weitaus schneller vorliegen – im Idealfall in wenigen Millisekunden. Um Anfragen von Millionen von Nutzenden in dieser Geschwindigkeit beantworten zu können, ist erhebliche Rechenleistung nötig, die viel Energie verbraucht und dementsprechend hohe Kosten und CO<sub>2</sub>-Emissionen verursacht.

Eine vielversprechende Methode, um Inferenz effizienter zu gestalten, sehen die Jenaer Forschenden darin, sogenannte Tensorberechnungen zu optimieren, auf die sich viele Probleme abbilden lassen und die in der KI-Infrastruktur deshalb häufig verwendet werden. »Ein Tensor ist ein mathematisches Konzept, mit dem sich komplexe Daten organisiert darstellen lassen«,



Prof. Dr. Joachim Giesen (l.) und Prof. Dr. Alexander Breuer (r.) forschen im Graduiertenkolleg »Interactive Inference«. · Foto: Anne Günther

Vorfeld berücksichtigen, um unnötige Berechnungen zu vermeiden«, ergänzt Joachim Giesen.

### Effizientes Berechnen von Wahrscheinlichkeiten

Solche und andere Methoden zur Effizienzsteigerung erforschen die Jenaer Expertinnen und Experten zur Beschleunigung von Inferenzanfragen, zum Beispiel für probabilistische KI-Modelle – also Modelle, bei denen Wahrscheinlichkeiten eine große Rolle spielen. Diese kommen unter anderem in der Logistik zum Einsatz. Eine KI kann beispielsweise berechnen, wie hoch die Wahrscheinlichkeit ist, dass zu einem bestimmten Zeitpunkt an einem bestimmten Ort Passagiere eine Mitfahrgelegenheit benötigen und dabei das regelmäßige Verkehrsaufkommen oder potenzielle Straßenbaustellen berücksichtigen. »Wir gehen davon aus, dass solche Anwendungen in Zukunft an Bedeutung gewinnen werden und konzentrieren uns deshalb darauf, die zugrundeliegende KI-Infrastruktur zu entwickeln«, sagt Joachim Giesen. KI wird in den kommenden Jahren aus fast keinem Bereich wegzudenken sein. Umso wichtiger ist es, dass infrastrukturelle Fragen eine größere Aufmerksamkeit erhalten. »Der Rechenaufwand sowohl beim Trainieren von KI-Modellen als auch bei der Inferenz ist jetzt schon massiv und wird weiter zunehmen«, sagt Alexander Breuer. »Die Leistungsfähigkeit der Hardware steigt zwar ebenfalls, aber sie lässt sich nicht mehr so einfach programmieren.« Eine sehr gute Ausbildung des wissenschaftlichen Nachwuchses sei deshalb unerlässlich. ■

erklärt Prof. Dr. Alexander Breuer vom Graduiertenkolleg. »Besteht ein Datenpunkt aus mehreren Zahlen – zum Beispiel eine Windrichtung –, dann nennt man diesen Datenpunkt einen Vektor. Benötigt man für das Speichern von Daten mehrere Vektoren, erhält man eine Matrix, also ein zweidimensionales Gitter. Finden schließlich mehrere Matrizen Verwendung,

dann spricht man von einem Tensor höherer Ordnung, der mehr als zwei Dimensionen umfasst.« Diese strukturierte Darstellung von Daten biete viele Möglichkeiten zur Beschleunigung von Rechenprozessen. »Wenn beispielsweise viele Zahlen innerhalb der Tensoren Nullen sind, dann ergeben auch viele Rechnungen auf den Tensoren Null – das lässt sich bereits im

## Big Data des Spätmittelalters

Die fakultätsübergreifende Arbeitsgruppe MEPHisto (»Modelle, Erklärungen und Prozesse in den historischen Wissenschaften«), der Forschende der Professur für Praktische Informatik II (Künstliche Intelligenz) und der Professur für Mittelalterliche Geschichte angehören, untersucht und entwickelt digitale Arbeitstechniken und Tools zur Unterstützung historischer Forschung. Das Team um Prof. Dr. Clemens Beckstein und apl. Prof. Dr. Robert Gramsch-Stehfest widmet sich in einem aktuellen Projekt der digitalen Erschließung von sogenannten Regesten. Das sind semi-strukturierte kurze Texte, die stichpunktartig die Inhalte von historischen Quellen in komprimierter Form zusammenfassen.

Konkret geht es dabei um Quellen aus dem Vatikanischen Archiv: »Die römische Kurie hatte schon im Hochmittelalter begonnen, das eigene Verwaltungsschriftgut umfassend zu dokumentieren und zu archivieren und hat so eine Unmenge an Überlieferung erzeugt, wie sie für das Mittelalter nirgendwo sonst auf der Welt zu finden ist«, sagt Robert Gramsch-Stehfest. Allerdings sind die Tausenden Handschriftenbände im Vatikan einer systematischen Erforschung nahezu unzugänglich.

Das haben Forschende bereits vor mehr als 130 Jahren erkannt und begonnen, die umfangreichen Akten in eine semi-strukturierte Form zu überführen. Das seit 1892 laufende Projekt »Repertorium Germanicum« (RG) fasst Quellenbelege aus den Vatikanischen Beständen mit Bezug zu Deutschland in einem Kurzschriftsystem zusammen, »einer Art lateinischer Stenografie«, veranschaulicht Clemens Beckstein. Die bisher erschienenen zehn Bände des RG listen zehntausende Geistliche und Gelehrte der Zeit zwischen 1378 und 1484 auf und berichten über Ereignisse, an denen diese Personen beteiligt waren. Doch auch diese Zusammenfassungen sind für eine umfassende rechnergestützte Erforschung noch immer nicht geeignet.

Das MEPHisto-Team versucht daher mit Methoden der KI, die in den Regesten des RG enthaltenen Sachinformationen automatisch herauszufiltern und in strukturierte Daten zu überführen, die für weitergehende Analyseprozesse in einer klassischen Datenbank gespeichert und für verschiedenste wissenschaftliche Fragestellungen nutzbar sind. Dafür setzen die Forschenden ANTLR ein (ANother Tool for Language Recognition), ein Werkzeug zur automatischen Generierung von Textanalyse-Tools. Um die Regesten entsprechend einer bestimmten Fragestellung algorithmisch auswerten zu können, müssen die Forschenden zunächst eine formale Grammatik entwickeln, die die syntaktische Struktur der Regesten passend zu den Begrifflichkeiten beschreibt, über die die Regesten reden (hier also die kirchenrechtlichen Begriffe des Hochmittelalters). Mit Hilfe dieser Grammatik erzeugt ANTLR dann vollautomatisch ein maßgeschneidertes Software-Werkzeug, das beliebige Textquellen desselben Typs analysieren kann.

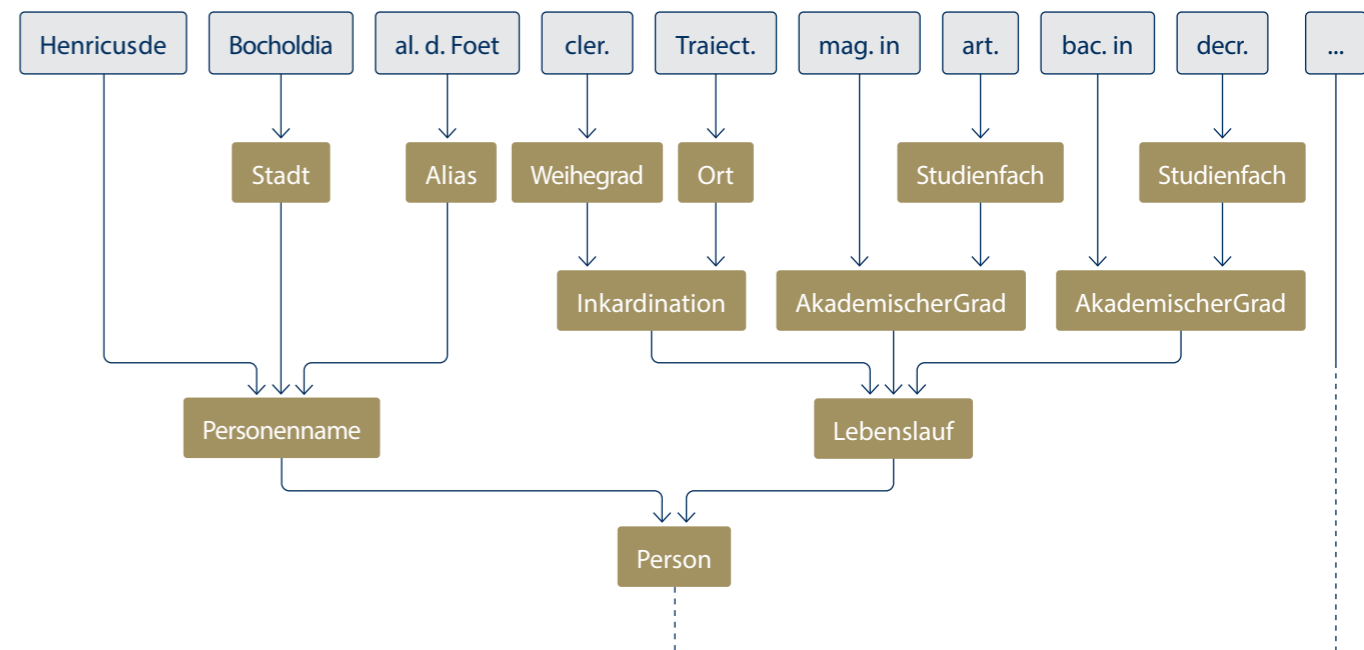
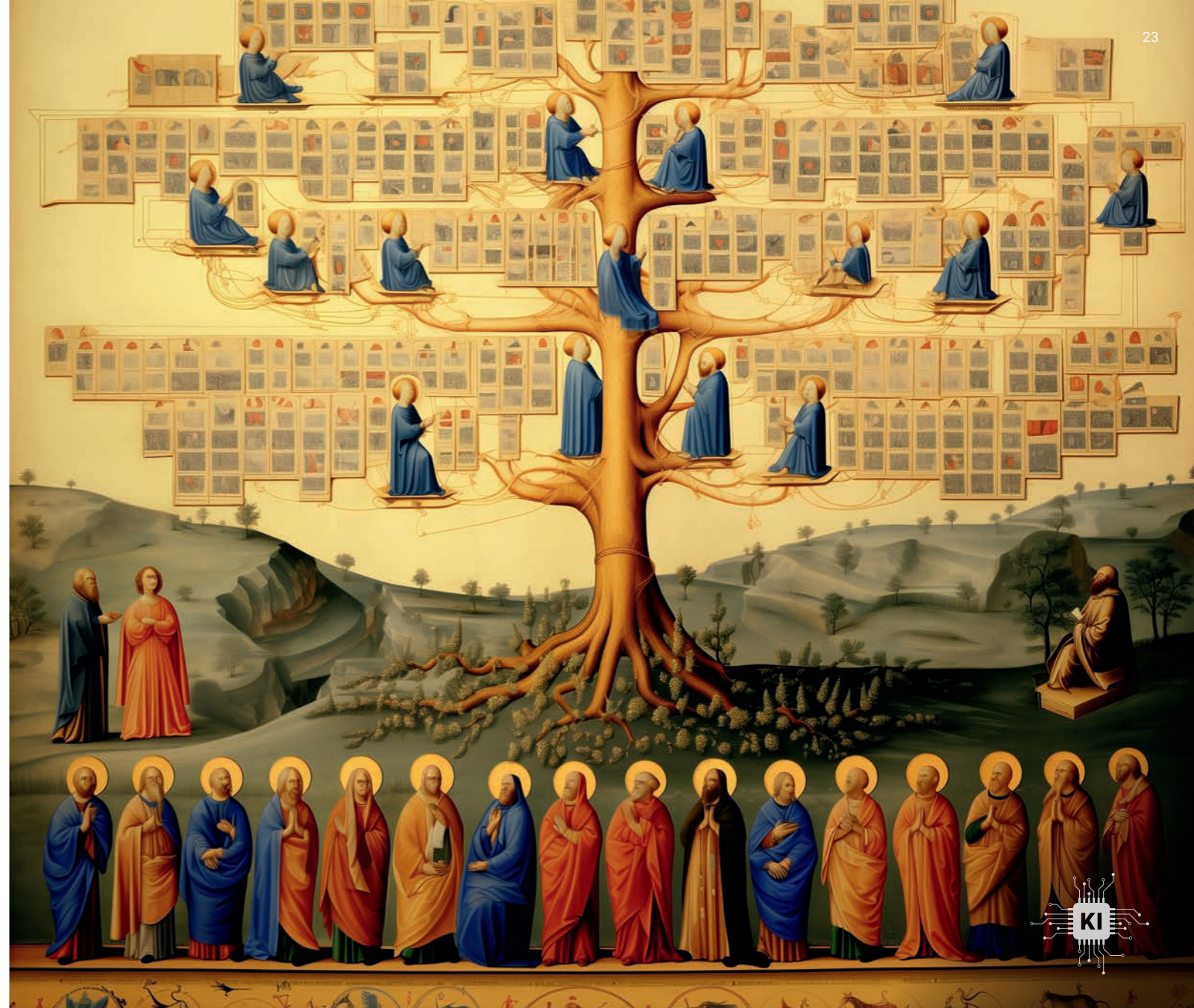
Allerdings ist die Erarbeitung einer solchen Grammatik ein aufwendiger Prozess, der neben sprach- und geschichtswissenschaftlicher Expertise sehr viel Informatik-Know-how erfordert. Um diesen Prozess künftig zu erleichtern, entwickelt das MEPHisto-Team, dem auch die beiden Doktoranden Clemens Beck und Johannes Mitschunas angehören, die Grammatik-Entwicklungsumgebung »Paredros«. Nach dem Vorbild ihres Namensgebers – in der griechischen Mythologie ist ein Paredros der Helfer eines Gottes – soll diese Entwicklungsumgebung Forschende bei der Erarbeitung von Grammatiken zur Strukturierung ihrer Daten unterstützen: etwa dadurch, dass »Paredros« anhand der Quelltexte automatisch Standardbausteine für die hierarchische Komposition dieser Grammatiken vorschlägt oder dadurch, dass es Namen und Orte, die in den Quelltexten thematisiert werden, automatisch identifiziert.

Mit Hilfe des Dreiklangs aus ANTLR, Paredros und einer – unterstützt von Paredros – passend zum Repertorium Germanicum entwickelten Grammatik der Regestenstenografie lässt sich so für beliebige mittelalterliche Ereignisse, die in dieser riesigen Sammlung von Regesten des Vatikans beschrieben sind, automatisch eine komplexe (Daten-)Struktur generieren, die neben dem syntaktischen Aufbau des Regests auch all die inhaltlichen und domänenspezifischen Sachverhalte darstellt, über die dieser Regest redet. Damit legen die Jenaer Forschenden die Grundlage dafür, dass das überlieferte historische Material des Repertorium Germanicum Jahrhunderte nach seiner Entstehung und mehr als 130 Jahre nach Beginn seiner Aufarbeitung in eine strukturierte Datenbank der gelehrten Kleriker des Spätmittelalters fließen kann, die dann für vielfältige historische Forschungen zur Verfügung steht.

US

**Bild rechts oben:** Ein mit dem KI-Programm Midjourney erstelltes Bild eines fiktiven Syntaxbaums. Das text-to-image-Tool erhielt die Anweisung (Prompt), einen »parse tree im Stil Fra Angelicos« zu erstellen. Es löste die Aufgabe durch Rückgriff auf eine im Spätmittelalter und Frühneuzeit sehr beliebte Form von Baumdarstellungen, den genealogischen Stammbaum. Offenbar ist die KI mit entsprechendem Bildmaterial trainiert worden. Fra Angelico, ein toskanischer Künstler des frühen 15. Jahrhunderts, hat selbst in Rom gewirkt. Seine Werke – überwiegend Altartafeln – zeichnen sich durch eine strenge, einfache Bildsprache aus, die Midjourney gut erfasst. · Grafik: Midjourney

**Abbildung rechts unten:** Ein mit ANTLR generierter Syntaxbaum (parse tree) des Kopfs des Regesteintrags »RG III 00057« (<http://rg-online.dhi-roma.it/RG/3/57>) aus dem »Repertorium Germanicum«. Er enthält Informationen zu Heinrich Foet von Bochold, eines Geistlichen (clericus) aus dem Bistum Utrecht (Traiectum). Foet trug die akademischen Grade eines magister in artibus und baccalarius in decretis (d. h. im Kirchenrecht). Im weiteren Regestentext wird dokumentiert, dass ihm im Jahr 1410 durch den Papst eine Pfarrkirche in den heutigen Niederlanden zugewiesen wurde. · Abbildung: AG MEPHisto



## Stadtspaziergang durch Raum und Zeit

Virtuelle Spaziergänge durch die Altstadt von Dresden und ihre Stadtgeschichte ermöglicht die Webanwendung »4D-Browser«, die ein Team um Juniorprofessor Dr. Sander Münster im Rahmen eines vom Bundesministerium für Bildung und Forschung geförderten Projekts entwickelt hat. Dabei handelt es sich um eine interaktive Plattform, in der ein 3D-Stadtmodell, kombiniert mit historischen Bildern und Texten zu Gebäuden und Architektur, durchsucht werden kann.

»Das Besondere daran: Die historischen Fotos in dem Modell werden an ihrem jeweiligen Aufnahmestandort und aus der spezifischen Kameraposition angezeigt«, sagt Sander Münster. »Daraus wird zum Beispiel ersichtlich, aus welcher Richtung Gebäude besonders häufig fotografiert wurden, mit welchem Blick also die Fotografinnen und Fotografen der Vergangenheit die Stadt wahrgenommen haben oder wie ein Stadtgebiet inszeniert wurde.« Dank einer Zeitleiste lassen sich die fotografisch dokumentierten Veränderungen an Gebäuden oder Gebieten über die Zeit verfolgen. Die 3D-Modelle und Fotos sind zudem mit Textquellen verknüpft.

### KI ermittelt den exakten Kamerastandpunkt

Die Daten im »4D-Browser« werden ständig erweitert, hinzukommende Bilder automatisch verortet und Bildinhalte mit Texten verknüpft. Dabei erfolgten die Auswahl der Fotos und ihre Zuordnung zu bestimmten Objekten in der Vergangenheit vorwiegend anhand von Metadaten. Da diese allerdings oft fehlerhaft oder unvollständig sind, nutzen die Forschenden für diesen Prozess inzwischen vielfältige KI-Werkzeuge: So werden Bildähnlichkeiten mit Hilfe von ML-Modellen analysiert. Um die Bildverortung am Kamerastandpunkt zu ermitteln, setzt das Team auf künstliche neuronale Netze, die mit Merkmalsdetektion und Matchingverfahren arbeiten. Techniken der Computer Vision helfen bei der Feinjustierung der Verortung und verwenden dafür KI-basierte Kantendetektion und Feature Matching.

Auch bei der Verknüpfung der verschiedenen Bild-, Text- und 3D-Daten sowie für die Verarbeitung der Texte kommen KI-Techniken zum Einsatz, etwa zur automatischen Annotation von Eigennamen von Personen und Orten in den Textquellen sowie für semantische Textannotationen aufgrund von Wortähnlichkeiten.

In einer Graphdatenbank werden die Annotationen in Bild, Text und 3D analysiert und verglichen, um ähnliche Inhalte einander zuzuordnen. Zu den Bildern können auch passende Bildunterschriften automatisch erstellt werden. Dies geschieht aktuell regelbasiert, soll aber künftig durch KI verfeinert werden.

### Begrenzte Datenmenge schränkt Leistungsfähigkeit der KI ein

»Dabei ist keine der von uns genutzten KI-Techniken neu oder wurde für dieses Projekt entwickelt«, betont Münster. »Allerdings adaptieren wir vorhandene Ansätze oder kombinieren sie mit anderen Verfahren, um eine höhere Genauigkeit und Zuverlässigkeit zu erhalten.«

Die Arbeit mit historischen Quellen birgt jedoch noch etliche Herausforderungen. So handele es sich bei den historischen Fotos um Digitalisate, die in der Regel keine Informationen zu Kameraparametern enthalten. Das limitiere den Einsatz von Technologien, die diese Informationen benötigen, um den Kamerastandpunkt von Fotos zu rekonstruieren.

Und ein grundlegendes Problem lasse sich mit Blick auf die Nutzung von KI in den Geschichtswissenschaften auch noch nicht lösen: Die Mengen an verfügbaren historischen Daten, um die Modelle zu trainieren, ist eher gering, was die Leistungsfähigkeit der KI-Modelle begrenzt. Das mache sich etwa bei Fragestellungen zur Architektur bemerkbar. Während KI-Modelle zwar bereits gut automatisch Dächer und Fenster erkennen können, lassen sich andere Fassadenelemente wie Pilaster und Architraven bisher aber noch nicht automatisch identifizieren. US



**Oberfläche der Webanwendung »4D-Browser«.** Darin sind historische Fotografien in einem 3D-Stadtmodell verortet. Der gezeigte Ausschnitt bildet die Altstadt von Dresden mit Zwinger und Schloss ab. Dem Projektteam gehörten Forschende der Universitäten Jena, Würzburg, Bielefeld, der Ludwig-Maximilians-Universität München und der TH Köln an.



**Operation eines Kopf-Hals-Tumors.** Momentan entscheidet die Chirurgin oder der Chirurg über die Tumorsektionsgrenzen anhand der präoperativen Informationen und aufgrund der Weißlichtbild-Information des Tumors, der mikroskopisch oder endoskopisch (wie hier im Bild) betrachtet wird. Dies ist allerdings ungenau und soll sich durch sensorisierte Chirurgie ändern. - Foto: Orlando Guntinas-Lichius

## OP-Roboter mit Feingefühl

Ein sensorbasiertes Unterstützungssystem für Tumor-Operationen entwickelt ein interdisziplinäres Forschungsteam von Universität und Uniklinikum Jena gemeinsam mit weiteren Projektpartnern. Das 2023 gestartete Projekt »Sensorisierte Chirurgie« wird von der Carl-Zeiss-Stiftung im Programm »Durchbrüche« gefördert. Ziel ist ein System, das Chirurginnen und Chirurgen bei der Tumor-Entfernung assistiert, indem es während der Operation in Echtzeit optische und haptische Rückmeldungen liefert. Neben Teams aus der Informatik und der Medizin sind auch Forschende des Leibniz-Instituts für Photonische Technologien sowie der TU Ilmenau beteiligt.

### Tumor vollständig entfernen und gesundes Gewebe schonen

Bösartige Tumoren sind nicht selten lebensbedrohliche Erkrankungen und werden, wenn möglich, operativ entfernt. »Dabei geht es darum, das Tumorgewebe vollständig zu entfernen und zugleich das umliegende gesunde Gewebe zu schonen«, sagt Prof. Dr. Orlando Guntinas-Lichius von der Klinik für HNO-Heilkunde des Jenaer Uniklinikums und Koordinator des Projektteams. Um die Grenze zwischen Tumor und gesundem Gewebe erkennen und präzise schneiden zu können, nutzen Chirurginnen und Chirurgen bislang beispielsweise weißlichtbild-gestützte Videoendoskopie und entscheiden dann anhand ihrer Erfahrung über Tumorgrenzen und Schnittführung.

»Doch in bis zu 30 Prozent der Fälle wird mit diesem Vorgehen der Tumor nur unvollständig entfernt, was die Überlebenschance der Patientin oder des Patienten verringert«, so Guntinas-Lichius. Selbst mit immer präziser arbeitenden OP-Robotern lasse sich dieser Anteil nicht wesentlich verringern, solange sich die Auflösung und Darstellung der Gewebegrenzen nicht ebenso verbessert.

Genau das versucht das interdisziplinäre Team jetzt zu erreichen und eine komplexe sensorisierte Chirurgie zu entwickeln: Mittels neuartiger biophotonischer Bildgebung und biomechanischer Sensorik wollen die Forschenden die Tumorgrenzen während der OP hochaufgelöst und in Echtzeit darstellen und zugleich haptisch vermitteln, so dass die Operierenden den Tumor nicht nur sehen, sondern auch »ertasten« können.

Bei diesem Vorhaben spielt KI eine zentrale Rolle. Grundlage dafür bilden Daten von histopathologischen Untersuchungen von Kopf-Hals- und Hirn-Tumoren, sowohl aus dem Universitätsklinikum Jena als später auch aus einem überregionalen Kliniknetzwerk, mit denen mehrere dezentrale Modelle für Maschinelles Lernen gespeist und trainiert werden. Als Histopathologie werden Untersuchungen von Gewebeproben bezeichnet, die zum Beispiel durch Biopsien gewonnen werden und dazu dienen, bösartige Veränderungen in den Zellen und Geweben zu diagnostizieren.

Die lokalen an den einzelnen Kliniken genutzten ML-Modelle sollen durch sogenanntes föderales Lernen ein gemeinsames zentrales ML-Modell aufbauen, wobei kritische Anforderungen wie etwa die Datensicherheit gewährleistet bleiben, da sensible Patientendaten die behandelnde Klinik nicht verlassen. »Das globale Modell wird kontinuierlich aus Daten der lokalen Modelle aktualisiert und dabei werden automatisch die stabilen Merkmale, das heißt die kausalen Merkmale für die Aufgabe ermittelt«, so Guntinas-Lichius weiter. Kausale Merkmale werden zum Beispiel spezifische molekulare Eigenschaften der Tumoren sein, die biophotonisch detektiert werden.

Das globale Modell wird anschließend den lokalen Modellen zur Verfügung gestellt und dort an die individuelle Umgebung angepasst. Am Ende des Vorhabens soll ein kontinuierliches föderales Lernsystem vorliegen, das die Ränder jedes individuellen Tumors verlässlich erkennt. US

## Lebensrettende Diagnostik

Die Forschungsgruppe »Angewandte Systembiologie« um Prof. Dr. Marc Thilo Figge wendet KI-Methoden in der biomedizinischen Forschung an. Ziel des Teams vom Institut für Mikrobiologie und des Leibniz-Instituts für Naturstoff-Forschung und Infektionsbiologie (Leibniz-HKI) ist es, damit Infektionen mit humanpathogenen Pilzen schneller und präziser identifizieren zu können.

Pilzinfektionen sind vor allem für Menschen mit geschwächtem Immunsystem ein lebensgefährliches Risiko. Sie werden meistens von Schimmelpilzen wie *Aspergillus fumigatus* und Hefepilzen wie *Candida albicans* verursacht. Diese Mikroorganismen kommen praktisch überall in der Umwelt vor und auch der menschliche Körper ist von ihnen besiedelt. Ein intaktes Immunsystem hält das Wachstum der Pilze auf und im menschlichen Körper in der Regel gut in Schach. Ist die Immunabwehr aber geschwächt, etwa durch eine Erkrankung oder durch die Einnahme von Immunsuppressiva, dann können sich die Erreger ausbreiten und zu einer lebensbedrohlichen Sepsis führen.

Das Problem bisher: »Blutinfektionen beispielsweise durch *Candida*-Arten sind nur schwer und langwierig zu diagnostizieren, was die Therapie- und letztlich die Überlebenschancen der Patientinnen und Patienten einschränkt«, sagt Prof. Figge. Eine präzise und vor allem rasche Diagnose könne im Falle von invasiven Pilzinfektionen buchstäblich Leben retten.

Und hier kommen KI-Methoden ins Spiel: Mittels künstlicher neuronaler Netze analysieren die Forschenden sowohl mikroskopische Bilder als auch Videodaten von Vollblut-Proben. Zwar sind die in kleiner Zahl vorkommenden Erreger selbst im Blut von Patientinnen und Patienten nicht direkt beobachtbar – ihre Interaktionen mit den in großer Zahl vorkommenden Blutzellen aber schon. So zeigen gezielt aus dem Vollblut isolierbare Zellen des Immunsystems, die sogenannten »Neutrophilen«, eine charakteristische dynamische Veränderung ihrer äußeren Gestalt, nachdem sie Kontakt mit den Pilz-Erregern hatten. »Dieses sich zeitlich verändernde Erscheinungsbild – wir nennen das die Morphodynamik von Neutrophilen – ist ein Indikator dafür, dass eine Infektion

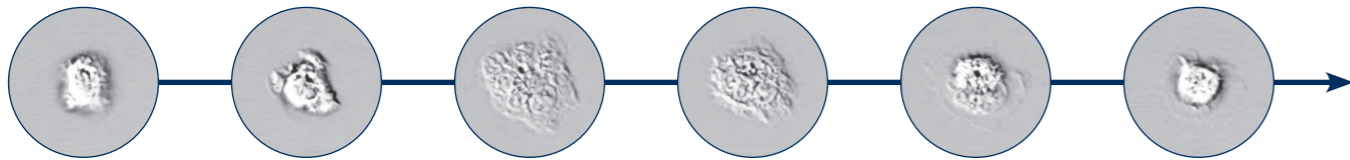
vorliegt«, verdeutlicht Figge. Was bislang ganz klassisch – per menschlichem Auge – analysiert wurde, funktioniert inzwischen auch automatisch mit KI-Unterstützung. Mit einhundert-prozentiger Genauigkeit könnten Vollblut-Proben ohne Erreger von solchen mit Erregern unterschieden werden, sagt Figge. Doch nicht nur das. »Sogar zwei eng miteinander verwandte Pilzerreger wie *Candida albicans* und *Candida glabrata* kann die KI sicher unterscheiden.« Und dies nicht nur schneller, sondern auch präziser als es Menschen können.

Es kommen verschiedene neuronale Netze zum Einsatz, wie Faltungsnetze für die Analyse individueller Mikroskopiebilder oder Transformer-basierte Netze für Videodaten, welche jeweils von aus dem Vollblut isolierten Neutrophilen trainiert werden.

### »Inhärent undurchsichtige Blackboxes«

So überaus erfolgreich KI-Methoden in diesem Bereich bereits angewendet werden, das Forschungsteam um Prof. Figge sieht die künstlichen neuronalen Netze und ihren wachsenden Einsatz auch kritisch: »Es hat den unbefriedigenden Beigeschmack, dass diese Werkzeuge inhärent undurchsichtige Blackboxes sind«, erklärt er. Erkenntnisse über die Merkmale, auf denen Entscheidungsprozesse künstlicher neuronaler Netze beruhen, blieben verborgen. »Dieser Mangel an Transparenz gibt durchaus Anlass zur Sorge, insbesondere bei kritischen Anwendungen in der biomedizinischen Forschung, wo KI-basierte Entscheidungen in der Diagnostik Auswirkungen auf die Behandlung von Menschen haben.«

In Zukunft, so Figge, müssten sich Forschende vermehrt auf die Entwicklung von Methoden zur Verbesserung der Interpretierbarkeit von KI-Methoden konzentrieren, um ein Gleichgewicht zwischen der Komplexität fortschrittlicher Algorithmen und der Notwendigkeit von Transparenz und Verantwortlichkeit bei der Entscheidungsfindung zu schaffen. US



Morphodynamik eines »Neutrophilen« nach Infektion mit *Candida* im Vollblut. Diese Zellen weisen eine dynamische Veränderung ihrer Morphologie auf, nachdem sie Kontakt mit *Candida*-Erregern hatten. Diese Morphodynamik zeigt charakteristische Unterschiede für die verschiedenen Arten *Candida albicans* und *Candida glabrata*, die mittels KI zur Unterscheidung der Erreger einer Blutinfektion genutzt werden können. Hier zu sehen ist die morphologische Veränderung von ein und demselben »Neutrophilen« über einen Zeitraum von zwei Minuten (von links nach rechts). · Abbildung: AG Figge

Der Assyriologe Dr. Adrian Heinrich präsentiert eine in Keilschrift beschriebene Tontafel aus der Hilprecht-Sammlung der Universität Jena (»Frau Professor Hilprecht Collection of Babylonian Antiquities«). · Foto: Anne Günther



## KI entschlüsselt Keilschrift

Keilschrifttafeln sind die ältesten überlieferten schriftlichen Zeugnisse der Menschheit. Schon vor über 4000 Jahren ritzen Schriftkundige Zeichen in weichen Ton. Es sind Notizen aus Haushalt und Handel, aber auch liturgische und poetische Texte. Zu den berühmtesten gehören das Gilgamesch-Epos und die Gesetzesstele des Hammurabi. Die Texte entstanden in Mesopotamien, dem Zweistromland zwischen Euphrat und Tigris. Viele der Tontafeln sind nur so groß wie eine Bankkarte und haben die Jahrhunderte überdauert. Selbst die zerstörerische Kraft des Feuers konnte ihnen nichts anhaben; im Gegenteil: gebrannter Ton wird noch haltbarer.

Inhaltlich sind die Keilschrifttafeln ein Rätsel, das sich nur mühsam lösen lässt. Das hat verschiedene Gründe. Da ist zum einen die schiere Menge dieser Artefakte: Weltweit gebe es ungefähr eine halbe Million Keilschrift-Objekte, sagt Dr. Adrian Heinrich. Der 35-jährige Assyriologe arbeitet als Assistent bei Prof. Dr. Johannes Hackl im Institut für Orientalistik, Indogermanistik & Ur- und Frühgeschichtliche Archäologie der Uni Jena. Gemeinsam mit Kustodin Marie Young erforscht das Trio die Jenaer Hilprecht-Sammlung, die etwa 3300 Objekte umfasst und damit die zweitgrößte Sammlung in Deutschland ist.

Eine weitere Schwierigkeit ergibt sich daraus, dass es weltweit verstreut Sammlungen gibt und nicht selten Stücke meilenweit voneinander entfernt in der Vitrine liegen, die ursprünglich einmal zusammengehörten. Hinzu kommen zahlreiche Bruchstücke, die nur wenige Keilschriftzeichen enthalten. Als drittes ließe sich die überschaubare Zahl von Altorientalisten ins Feld führen. Dennoch gelang es seit Mitte des 19. Jahrhunderts, die Keilschrift Stück für Stück zu entschlüsseln. Wie Adrian Heinrich erklärt, könnte Künstliche Intelligenz das Ganze jetzt erheblich beschleunigen. Das Jenaer Team ist einer der Kooperationspartner im Projekt Electronic Babylonian Library, das der Münchner Assyriologe Prof. Dr. Enrique Jiménez ins Leben gerufen hat. Das Ziel: eine KI befähigen, Keilschrifttexte zu lesen und zu überset-

zen. Als Grundlage dienen präzise Scans, die die Objekte dreidimensional abbilden. »Wir wollen die Forschungs- und die Sammlungsperspektive zusammenführen«, sagt Adrian Heinrich. Das heißt etwa, dass digitale Plattformen die Keilschrifttexte für jedermann einsehbar machen werden. Zudem stehen die Digitalisate für die Wissenschaft weltweit zur Verfügung.

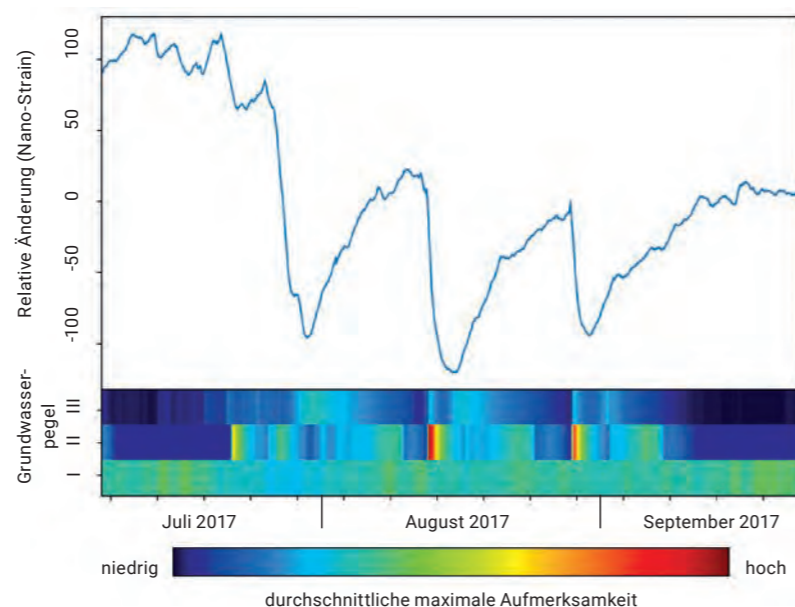
### Bruchstücke von Tontafeln dechiffrieren und zusammensetzen

Doch zunächst gilt es, die KI anzulernen, die Texte maschinell zu lesen. Mit der Digitalisierung der Keilschrifttafeln hat schon Hackls Vorgänger Prof. Dr. Manfred Krebernik begonnen, der dafür mit dem Max-Planck-Institut für Wissenschaftsgeschichte in Berlin kooperierte. Jetzt werden weitere Digitalisate in Zusammenarbeit mit der Thüringer Universitäts- und Landesbibliothek erstellt. Wichtig dabei: Die Stücke müssen von allen Seiten lesbar sein. »Jedes Schriftzeichen hat mehrere Lesewerte, was zu unterschiedlichen Textebenen führt«, sagt Dr. Heinrich. Werde die KI mit Daten »gefüttert«, müsse das berücksichtigt werden. Aktuell sind es noch Trainingsdaten, die maschinell übersetzt werden. Eingepflegt werden zudem vorhandene Übersetzungen, die etwa aus den Nachlässen von Forscherinnen und Forschern stammen. Dazu, erläutert Prof. Hackl, werde eine ähnliche KI eingesetzt, wie sie in der Gen-Forschung etabliert ist. »Dabei wird nach bestimmten Mustern gesucht.« Das System lerne, die Bildelemente mit Inhalten zu verknüpfen. Ziel sei es, selbst komplexe Suchanfragen über ganze Textkorpora hinweg richtig zu beantworten. Schon jetzt können sich die Ergebnisse sehen lassen: »Die Trefferquote bewegt sich zwischen 80 und 90 Prozent«, sagt Adrian Heinrich. Einen weiteren Vorteil verspricht die KI-Anwendung. Mit ihrer Hilfe wird es möglich sein, die zahlreichen kleinen Tafel-Bruchstücke zu dechiffrieren und wieder zusammensetzen. Es wäre ein großer Schritt für die Wissenschaft. sl

Die Kurve im oberen Teil der Abbildung gibt die Deformationsänderung (»Strain«) der Erdoberfläche über den Zeitraum von Juli bis September 2017 am Standort des Geo-Observatoriums in Moxa an.

Im unteren Teil der Abbildung sind Änderungen in den Grundwasserpegelständen von drei verschiedenen Messpunkten (I-III) anhand der »Aufmerksamkeitswerte« der verwendeten künstlichen neuronalen Netze dargestellt. Die Farbverläufe weisen auf unterschiedlich starke Beiträge der Wasserpegel zu den Deformationsänderungen hin, von blau (niedrig) bis rot (hoch). Daraus lassen sich Schlüsse über den Einfluss der Grundwasserpegel auf die Bewegungen der oberflächennahe Erdkruste ziehen.

Abbildung: Valentin Kasburg



## Am Puls der Erde

Seit 60 Jahren wird im Thüringer Schiefergebirge der Erde der »Puls« gefühlt: Im Geodynamischen Observatorium der Universität Jena, eine knappe Stunde mit dem Auto Richtung Süden in der Nähe der 80-Seelengemeinde Moxa, sammeln unterschiedliche, hochsensible Messsysteme Daten über das Innenleben unseres Planeten. Der »Herzschlag« der Erde erfolgt gemächlich, seine Signale sind zumeist erst aus jahr- oder jahrzehnte-umfassenden Aufzeichnungen herauszufiltern. »Um Aufschlüsse über die Prozesse zu erhalten, die im Inneren der Erde ablaufen, brauchen wir sehr lange und präzise Datenreihen«, sagt Prof. Dr. Nina Kukowski, an deren Lehrstuhl für Geophysik das Geo-Observatorium angesiedelt ist.

Neben klassischen Instrumenten wie einem supraleitenden Gravimeter zur Registrierung des Schwerefeldes der Erde, verfügt das Observatorium in Moxa über eine Anzahl weiterer ausgefeilter Messsysteme. Als eine von wenigen Einrichtungen weltweit betreibt die Uni Jena hier drei sogenannte Laser-Strainmeter, die – in unterirdischen Stollen installiert – die Deformationen der Erdoberfläche im Nanometerbereich registrieren. Auch Neigungsmesser (Tiltmeter) und eine knapp 100 Meter tiefe Bohrung, in der eine vom Thüringer Landesamt für Umwelt, Bergbau und Naturschutz bereitgestellte optische Faser die Temperatur im Erdinneren misst, gehören zum Repertoire. Alle zehn Sekunden werden zudem Wetterdaten aufgezeichnet. Durch die Kombination der unterschiedlichen Sensoren seien die Datensätze nicht nur sehr umfangreich, sondern auch sehr heterogen, so Kukowski. »Die darin enthaltenen natürlichen Signale zu entschlüsseln, ist eine komplexe Aufgabe. Dafür müssten sehr viele Menschen sehr lange arbeiten.«

Um diesen Prozess zu beschleunigen bzw. überhaupt erst zu ermöglichen, nutzen die Forschenden seit einigen Jahren zunehmend KI-Methoden, insbesondere Maschinelles Lernen. »Wir wenden KI in zwei unterschiedlichen Herangehensweisen an«, erläutert Doktorand Valentin Kasburg aus Kukow-

skis Team. Zum einen gehe es darum, in den Langzeitdaten Anomalien wie Messfehler und natürliche Signale zu identifizieren und diese aus den Zeitreihen herauszufiltern. Zum anderen wollen die Forschenden mit KI die Ursachen in den Daten analysieren und so ein besseres Verständnis der im Untergrund ablaufenden Prozesse erlangen.

Dafür nutzt das Team um Prof. Kukowski und die Informatiker Prof. Dr. Alexander Breuer und Prof. Dr. Martin Büker im Rahmen eines von der Carl-Zeiss-Stiftung geförderten Projekts künstliche neuronale Netze. Diese werden mit unterschiedlichen geodynamischen Langzeitdaten aus dem Observatorium in Moxa trainiert. Anschließend können die Forschenden die trainierten Modelle auf weitere Datenreihen anwenden und konkrete Fragestellungen bearbeiten.

### Kausale Zusammenhänge von Messdaten identifizieren

So ist es dem Team in einer aktuellen Studie gelungen, Daten verschiedener seismischer Netze zu analysieren und darin tektonische Erdbebensignale von anthropogen-verursachten Ereignissen wie Steinbruchsprengungen zu unterscheiden.

In anderen Untersuchungen geht es darum, in den Zeitreihen kausale Zusammenhänge der unterschiedlichen Messwerte zu identifizieren und diese von bloßen Korrelationen zu unterscheiden, erläutert Valentin Kasburg. »Wir schauen uns Wetterdaten, Niederschlagsereignisse und jahreszeitliche Effekte in Zusammenhang mit den geophysikalischen Daten an und versuchen herauszufinden, ob sich daraus Eigenschaften und Verhalten des Untergrunds herauslesen lassen.« Dabei interessiert sich das Team vor allem für Grundwasserbewegungen. »Wir wollen ergründen, welche Faktoren und Prozesse sie beeinflussen, wie sie sich z. B. durch den Klimawandel verändern und wie sich das in unseren Zeitreihen zeigt«, fasst Nina Kukowski zusammen. US

## GPT-3 für die chemische Forschung

GPT-3, das Sprachmodell hinter dem bekannten KI-System ChatGPT, kann auch in der Chemie eingesetzt werden, um verschiedene wissenschaftliche Aufgaben zu lösen. Das demonstrieren Forschende der École polytechnique fédérale de Lausanne (EPFL), der Universität Jena sowie des Helmholtz-Instituts für Polymere in Energieanwendungen (HIPOLE) Jena. Wie das Team kürzlich in »Nature Machine Intelligence« berichtete, umgingen sie hierbei das Problem, dass es in der Chemie oftmals an den benötigten großen Datenmengen fehlt, die für das Training einer KI benötigt werden.

### Kuratierte Fragen und Antworten statt großer Datenmengen

»Eines von verschiedenen Beispielen, die wir verwendet haben, sind sogenannte lichtempfindliche Schalter«, illustriert Dr. Kevin Jablonka, Erstautor der Arbeit. »Das sind Moleküle, die ihre Struktur ändern, wenn Licht einer bestimmten Wellenlänge auf sie fällt. Diese Art von Molekülen gibt es auch im menschlichen Körper: In unseren Netzhautzellen befindet sich das Molekül Rhodopsin, das auf Licht reagiert und damit letztendlich als chemischer Schalter dient, der optische Signale in Nervenimpulse umwandelt«, ergänzt er. »Die Frage, ob und wie ein bislang unbekanntes Molekül durch Licht schaltbar ist, ist also durchaus relevant – etwa wenn es darum geht, Sensoren zu entwickeln«, fasst er zusammen. »Aber auch die Frage, ob ein Molekül in Wasser gelöst werden kann, haben wir eingebracht«, nennt Jablonka als weiteres Beispiel, »denn gerade bei pharmakologischen Wirkstoffen ist die Wasserlöslichkeit ein wichtiger Faktor, damit die gewünschte Wirkung im Körper entfaltet wird.« Um ihr GPT-Modell so zu trainieren, dass es diese und andere Fragen beantworten kann, musste die Gruppe jedoch ein grundlegendes Problem lösen: »GPT-3 kennt den größten Teil der chemischen Fachliteratur nicht«, erklärt Jablonka. »Die Antworten, die wir von diesem Modell erhalten, beschränken sich also üblicherweise auf das, was man auch in der Wikipedia finden kann.«

Stattdessen habe die Gruppe GPT-3 mit einem Datensatz aus vergleichsweise wenigen Fragen und Antworten gezielt verbessert. »Wir haben das Modell mit Fragen gefüttert – etwa nach lichtempfindlichen schaltbaren Molekülen, zur Löslichkeit bestimmter Moleküle in Wasser und anderen chemischen Aspekten – wobei wir bei unseren »Lehrbeispielen« auch die jeweils zugehörige bekannte Antwort mit angegeben haben«, führt Jablonka aus. So haben er und sein Team ein Sprachmodell erschaffen, das in der Lage ist, zu verschiedenen chemischen Problemstellungen korrekte Erkenntnisse zu liefern.

Anschließend wurde das Modell getestet. »Die wissenschaftliche Frage nach einem durch Licht schaltbaren Molekül kann etwa so aussehen«, verdeutlicht Jablonka: »Was ist die Wellenlänge des pi-pi\*-Übergangs von  $CN1C(/N=N/C2=CC=CC=C2)=C(C)C=C1C?$ « Da das Modell textbasiert ist, können keine Strukturformeln angegeben werden, erklärt er. »Aber unser GPT arbeitet gut mit den sogenannten SMILES-Codes für Moleküle, wie im oben genannten Beispiel«, sagt er. Aber auch andere Notationen erkennt es. Dazu gehören auch chemische Namen, die der sogenannten IUPAC-Nomenklatur folgen.

### So einfach wie eine Literaturrecherche

In den Tests löste das Modell verschiedenste chemische Problemstellungen. Hierbei schnitt es oftmals sogar besser ab als ähnliche Modelle, die bisher in der Wissenschaft entwickelt und mit großen Datenmengen trainiert wurden. »Das Entscheidende aber ist, dass unser GPT so einfach zu bedienen ist wie eine Literaturrecherche, die für viele chemische Probleme funktioniert – etwa zu Stoffeigenschaften wie die Löslichkeit, aber auch thermodynamische und photochemische Eigenschaften wie die Lösungsenthalpie oder die Interaktion mit Licht – und natürlich das chemische Reaktionsvermögen«, ergänzt Prof. Dr. Berend Smit von der EPFL Lausanne. MK

GRAFIK: MID JOURNEY



## Digitale Baukästen für die Verwaltung

Der Weg zum digitalen Staat ist lang und steinig, das haben bereits einige Bundesregierungen, die sich große Ziele im Bereich Verwaltungsdigitalisierung gesetzt haben, erfahren müssen. Eine Arbeitsgruppe an der Friedrich-Schiller-Universität entwickelt derzeit nachhaltige digitale Verwaltungsstrukturen und greift dabei auch auf Künstliche Intelligenz zurück.

TEXT: SEBASTIAN HOLLSTEIN



Marianne Mauch leitet die Arbeitsgruppe »Offenes Design digitaler Verwaltungsarchitekturen« an der Uni Jena und koordiniert mehrere Projekte zur Digitalisierung von Verwaltungsprozessen – dicke Ordner aus Papier gehören dann der Vergangenheit an. · Foto: Anne Günther

Digitalisierung von Verwaltung bedeutet unkomplizierte und effiziente Verfahren für alle Beteiligten: Bürgerinnen und Bürger sollen bequem von Zuhause aus den Personalausweis beantragen oder online etwa ihren Wohnsitz nach einem Umzug ummelden können. Die Ämter sollen die dabei eingegangenen Daten digital verarbeiten können, ohne ausgedruckte Formulare bewegen zu müssen. Dafür braucht es Systeme, die für beide Seiten einfach zu verstehen sind und langfristig funktionieren. Im Rahmen dreier Projekte entwickeln Informatikerinnen und Informatiker der Universität Jena gemeinsam mit Kolleginnen und Kollegen der Stadtverwaltung Jena, vom Institut für Datenwissenschaften des Deutschen Zentrums für Luft- und Raumfahrt in Jena, von der Universität Bielefeld, vom Thüringer Finanzministerium und weiteren Partnern aus Forschung und Wirtschaft solche nachhaltigen Strukturen.

»Wir wollen den kompletten Pfad vom Gesetz zur digitalisierten Leistung abbilden und nutzbar machen«, sagt Marianne Mauch, die Leiterin der Arbeitsgruppe »Offenes Design digitaler Verwaltungsarchitekturen«. »Und am Anfang einer jeden neuen Regelung steht dabei der Gesetzestext.« Im Projekt »Computerunterstützte Analyse elektronisch verfügbarer Rechtsnormen« – kurz: »Canaréno« – entwickeln die Expertinnen und Experten aus der Informatik und der Computerlinguistik ein System, das alle wichtigen Informationen im Text automatisiert herausliest und zuordnet. Ziel ist eine

mit entsprechenden Daten trainierte KI, die selbstständig im Gesetzestext identifiziert, welcher Hauptakteur – in der Regel ein Amt – eine Verwaltungsleistung erbringt, wer diese in Anspruch nehmen kann und was der- oder diejenige dafür tun muss. Die Kategorisierung für die Begriffe in den Rechtsnormen orientiert sich am bundesweiten Standard des Föderalen Informationsmanagements – ein Projekt des Bundes und der Länder, das Verwaltungsleistungen möglichst bundesweit vereinheitlichen will.

»Auf diese Weise wollen wir automatisch alle Datenfelder herausfiltern, die ein digitales Antragsformular benötigt, und welche Unterlagen vorliegen müssen«, erklärt Marianne Mauch. »Ämter können so neue Verwaltungsleistungen schneller zur Verfügung stellen, flexibler auf Änderungen bereits bestehender Rechtsnormen reagieren und sowohl Formulare als auch Informationsmaterialien entwerfen und anpassen. Das spart Zeit und Geld.«

Um solche Systeme unkompliziert einsetzen zu können, ist es wichtig, dass die zugrundeliegenden Technologien einfach handhabbar sind. Deshalb konzentriert sich das Jenaer Team im Projekt »simpLEX: Vereinfachung der Erstellung und Verarbeitung elektronischer Dokumente durch Zuhilfenahme maschinenlesbarer Normentexte und Dokumentenbausteine« darauf, digitale Bearbeitungsprozesse vom Text bis zur Leistung so einfach und nachhaltig wie möglich zu beschreiben. Dazu greifen die Informatikerinnen und Informatiker bei der Entwicklung eines



Statt verstaubter Aktenstapel, effiziente digitale Prozesse – das ist das Ziel, das Informatikerinnen und Informatiker gemeinsam mit Partnern aus Forschung und Wirtschaft verfolgen. · Grafik: Midjourney

Vorschlag für eine Referenzarchitektur auf sogenannte No-Code- bzw. Low-Code-Plattformen zurück – also Software, die Programmieren mittels visueller Diagramme in einer Art Baukastensystem ermöglicht.

»Die Fachleute in der Verwaltung können sich so auf die rechtlichen Verfahrensweisen und die amtlichen Prozesse konzentrieren und müssen nicht Programmiersprachen beherrschen, wenn sie in den digitalisierten Systemen Änderungen vornehmen wollen«, erklärt die Arbeitsgruppenleiterin. Zudem nutzen die Forschenden offene, strukturierte, auf Open-Source-Anwendungen basierende Systeme und integrieren in diese offene Standards und für Maschinen interpretierbares Wissen. Kleinere Firmen und Start-ups können die Ergebnisse so für sich nutzen, was verhindert, dass öffentliche Einrichtungen im Rahmen digitaler Verwaltungsstrukturen von einzelnen Anbietern abhängig werden. Gemeinsam mit der Stadtverwaltung Jena und der betterlaw Knowledge Tools Automation GmbH erproben die Expertinnen und Experten bereits den Prototyp eines solchen Verwaltungsprozesses

für einen konkreten Bürgergeldfall. Um dieses System, das als Basis für die Forschung an nachhaltigen und intelligenten Services genutzt wird, dauerhaft zu nutzen und auf andere Anwendungsbereiche auszuweiten, müssen weitere Fragen beantwortet werden – etwa die, wie es sich in vorhandene Systeme integrieren lässt.

### Wissenschaft und Verwaltung greifen ineinander

Um die Strukturen langfristig mit Basiswissen zu unterfüttern, arbeitet das Jenaer Team parallel an einem digitalen Verwaltungswörterbuch. »Wir wollen eine deutschlandweite Plattform aufbauen, auf der Informationen jederzeit abrufbar sind und die in eine Vielzahl von Systemen integrierbar ist«, erklärt Marianne Mauch das Vorhaben. Die Daten sind hierbei in Form von Wissensgraphen gespeichert – ein Modell, das nicht nur eine eindeutige Definition einer Sache festhält, sondern auch Beziehungen untereinander herstellt und das auf eine Art und Weise, die es auch Maschinen erlaubt, diese zu in-

terpretieren und daraus Schlüsse zu ziehen. So lässt sich zum Beispiel die Zuständigkeit verschiedener Ämter für einen Verwaltungsakt schnell klären. »Genau solche Datenschätze sind die Grundlage für KI«, hebt sie hervor. Hier bewegen sich die Projekte nah an aktueller Forschung, womit sich auch die Beheimatung der Arbeitsgruppe an der Heinz-Nixdorf-Proffessur von Prof. Dr. Birgitta König-Ries und dem Kompetenzzentrum Digitale Forschung der Universität Jena erklärt.

Dessen Leiter, Dr. Frank Löffler, unterstreicht gerade hier die enge Zusammenarbeit von Wissenschaft und Verwaltung: »Dank der intensiven Zusammenarbeit von Verwaltungsfachleuten aus ganz Deutschland und Europa wird die von uns entwickelte Plattform nicht nur der Forschung dienen, sondern vor allem eine offene, transparente Wissensquelle über Behörden und deren interne Abläufe und Schnittstellen schaffen.« Marianne Mauch ergänzt: »Und besonders in der Verwaltung braucht es eine Basis aus verlässlichem Wissen.« Zukünftige Entwicklungen könnten davon nur profitieren. ■



## »Wir wollen den Einsatz von KI ermöglichen«

Generative KI-Tools erobern derzeit viele Bereiche der Gesellschaft. Der Einsatz von Verfahren des Maschinellen Lernens in großen künstlichen neuronalen Netzen verspricht einerseits wissenschaftliche Fortschritte, stellt Forschende und Lehrende an den Universitäten aber andererseits auch vor Herausforderungen. Wie sich die Universität Jena dazu positioniert und wie Jenaer Forschende zur Weiterentwicklung von KI-Verfahren im Rahmen der Nationalen Forschungsdateninfrastruktur beitragen, darüber spricht der Vizepräsident für Digitalisierung der Universität Jena, Prof. Dr. Christoph Steinbeck, im Interview.

INTERVIEW: UTE SCHÖNFELDER

### Die Universität Jena verfolgt eine umfassende Digitalisierungsstrategie. Welche Rolle spielt KI dabei?

Es geht um eine ganzheitliche digitale Transformation der Universität. Wir gehen diesen Prozess mit drei Teilstrategien an: die Digitalisierung von Studium und Lehre, von Forschung und Bibliothek sowie von Verwaltung und Infrastruktur.

Und in allen drei Bereichen geht es auch um Anwendungen von KI. Das reicht von Entwicklungen im Bereich Forschungsdatenmanagement und Forschungsdateninfrastruktur über die Nutzung von KI-Tools in Studium und Lehre bis hin zu KI-Anwendungen in der Verwaltung, die Mitarbeitende unterstützen können, effizient und zügig Fragen zu beantworten oder Informationen bereitzustellen.

### Wie verändert KI die Arbeit von Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftlern?

KI ist zweifellos eine der »disruptiven« Technologien, die unsere Gesellschaft – und nicht nur die Wissenschaft – verändern. Was mit KI gemeint ist, ist natürlich sehr im Fluss. In der Forschung ist KI bereits seit mehreren Jahrzehnten ein Thema und mittlerweile weit verbreitet, etwa mit Anwendungen des Maschinellen Lernens. Schon in den 1990er Jahren konnte man Algorithmen mit kleinen künstlichen neuronalen Netzen trainieren, die ganz spezielle Probleme lösen konnten. Seit einigen Jahren nun sind wir in der Lage, extrem große künstliche neuronale Netze zu trainieren, zum Beispiel Large Language Models wie ChatGPT, die jetzt so viele Menschen begeistern (s. S. 16).

Allerdings stehen wir in der Forschung auch vor Herausforderungen durch KI: Denn die Tools zum Maschinellen Lernen arbeiten nur so gut, wie die Daten sind, mit denen sie trainiert werden. Und nicht für alle Forschungsbereiche gibt es bereits genügend solcher Trainingsdaten. Nur wenn die Algorithmen mit sehr großen Datenmengen trainiert sind, können sie das Versprechen von Big Data Analysis einlösen. Wenn das nicht der Fall ist, liefern diese Tools oftmals nur

scheinbar sinnvolle Resultate. Auf der anderen Seite sehen wir vor allem dort große wissenschaftliche Durchbrüche mit KI, wo diese großen Datenmengen zur Verfügung stehen.

### Solche Datensammlungen aufzubauen, ist das Ziel der Nationalen Forschungsdateninfrastruktur (NFDI). Inwieweit sind Forschende der Uni Jena daran beteiligt?

Die NFDI wird von der Deutschen Forschungsgemeinschaft gefördert und aufgebaut. Damit sollen sämtliche Datenbestände aus Wissenschaft und Forschung für das gesamte deutsche Wissenschaftssystem systematisch erschlossen werden. Das heißt, Daten, die bislang dezentral, projektbezogen oder auf Zeit verfügbar waren, werden gebündelt und vernetzt und so nachhaltig und für vielfältige Fragestellungen nutzbar gemacht.

Es gibt mittlerweile 26 unterschiedliche NFDI-Konsortien bundesweit, die sich jeweils auf ein Forschungsgebiet fokussieren. Und an etlichen dieser Konsortien sind auch Forschende der Uni Jena beteiligt, etwa in den Bereichen Biodiversität, Geowissenschaften, Mikrobiologie, Geschichtswissenschaften und nicht zuletzt in meinem Fach, der Chemie. Den entsprechenden Verbund »NFDI4Chem« leite ich selbst mit meinem Kollegen Oliver Koepler vom Leibniz-Informationszentrum Technik und Naturwissenschaften in Hannover.

### Nutzen Sie KI auch für Ihre eigene Forschung?

Ja, schon in den 1990er Jahren haben mein Team und ich Maschinelles Lernen verwendet, um aus chemischen Strukturen Kernresonanzspektren vorhersagen zu können. Solche Methoden kann man dann verwenden, um die Strukturen bisher unbekannter Substanzen aufzuklären. Allerdings konnten und können wir Algorithmen dafür auch erst mit einer begrenzten Menge an Daten trainieren. Denn auch für diesen Bereich liegen einfach noch nicht die großen Datensammlungen vor. Die erhoffen wir uns nicht zuletzt aus der NFDI.



Der Vizepräsident für Digitalisierung der Universität Jena, Prof. Dr. Christoph Steinbeck (Mitte links), hier zusammen mit Prof. Dr. Georg Pohnert (rechts daneben), amtierender Leiter der Universität und Vizepräsident für Forschung, während eines Rundgangs beim »Digital-Gipfel« der Bundesregierung am 21. November 2023 im Campusgebäude. · Foto: Jens Meyer

So richtig Spaß machen uns aktuell unsere Arbeiten, in denen wir Deep Learning verwenden, um chemische Strukturformeln aus Fachpublikationen automatisch in maschinenlesbaren Code übersetzen zu lassen. Damit entdecken wir »altes Wissen« in den Publikationen der Vergangenheit und machen es in offenen Datenbanken für die Wissenschaft verfügbar (s. S. 34).

### Mittlerweile spielt KI nicht mehr nur in der Forschung, sondern auch in der Lehre eine Rolle. 2023 ist eine Arbeitsgruppe »KI in der Lehre« an unserer Universität gegründet worden. Wie setzt sich diese zusammen?

Das war eine Initiative der Akademie für Lehrentwicklung (ALe), als deutlich wurde, dass wir mit dem Auftauchen von generativen KI-Tools, die sowohl von Lehrenden als auch Studierenden mehr und mehr genutzt werden, Handreichungen für den Umgang damit brauchen. Die Arbeitsgruppe setzt sich aus Mitgliedern der ALe zusammen, aber auch aus Vertreterinnen und Vertretern der Fakultäten, der Studierenden, des Vizepräsidiums für Studium und Lehre, der Servicestelle LehreLernen, des Michael-Stifel-Zentrums, des Multimediazentrums, des Rechtsamtes und des Studierendendezernats. Ich selbst als Vizepräsident für Digitalisierung habe den Vorsitz der Arbeitsgruppe inne.

### Welche Themen bearbeitet die Gruppe?

Ganz generell machen wir uns Gedanken darüber, wie sich KI-Werkzeuge wie ChatGPT oder Dall-E in der Lehre und

beim Lernen nutzen lassen und wie wir das Wissen um solche Anwendungen in den Curricula verankern können. Daneben geht es aber vor allem um sehr konkrete Fragestellungen. So war unser erstes Thema beispielsweise die Anpassung der Eigenständigkeitserklärung, die Studierende routinemäßig zusammen mit ihren Abschlussarbeiten abgeben müssen. In dieser Erklärung bestätigen die Studierenden, dass sie die Arbeit eigenständig und nur mit den erlaubten Hilfsmitteln angefertigt haben. Und mit dem Aufkommen der zahlreichen KI-Tools stellte sich die Frage, wie damit umzugehen ist.

### Welchen generellen Regulierungsbedarf sieht die Uni-Leitung denn hinsichtlich KI-Anwendungen in der Lehre?

Wir haben uns als Universitätsleitung entschlossen, die Nutzung von KI möglichst wenig zu regulieren und einen positiven, ermöglichenden Standpunkt einzunehmen. Das heißt, wir wollen keine restriktive Politik machen, sondern Lehrende und Studierende unterstützen, diese Tools einzusetzen. Das bedeutet auch, dass Lehrende selbst entscheiden können, inwieweit sie die Nutzung von KI-Tools etwa bei der Anfertigung von Abschlussarbeiten von Studierenden erlauben wollen.

In der Arbeitsgruppe »KI in der Lehre« haben wir dafür zum Beispiel ein interaktives Formular entwickelt, aus dem die Lehrenden ein für sie passendes Regularium erstellen können, und die Erklärung der Studierenden daran anpassen. In der Konsequenz bedeutet das natürlich, dass Betrug und Betrugsversuche auch weiterhin sanktioniert werden. ■

# Vom Spielbrett zum chemischen KI-Werkzeug

Ein Forschungsteam um den Chemiker Prof. Dr. Christoph Steinbeck hat eine Plattform entwickelt, die mittels künstlicher neuronaler Netze chemische Strukturformeln in eine maschinenlesbare Form übersetzt. Mit der Plattform »DECIMER.ai« haben die Forschenden ein KI-Tool geschaffen, mit dem diese Informationen automatisiert in Datenbanken eingespeist werden können – bislang war das sprichwörtlich Handarbeit und entsprechend zeitaufwendig.

TEXT: UTE SCHÖNFELDER

Wie chemische Verbindungen aufgebaut sind, das heißt, aus welchen Atomen sie bestehen, wie diese räumlich angeordnet und miteinander verbunden sind, wird in sogenannten Strukturformeln dargestellt.

Für Chemikerinnen und Chemiker lässt sich aus einer Strukturformel unter anderem ableiten, welche Moleküle miteinander reagieren können und welche nicht, wie sich komplexe Verbindungen

synthetisieren lassen oder welche Naturstoffe eine therapeutische Wirkung haben könnten, weil sie mit Zielmolekülen in Zellen zusammenpassen.

Im 19. Jahrhundert entwickelt, hat sich die Darstellung von Molekülen als Strukturformeln bewährt und wird bis heute in jedem Chemie-Lehrbuch genutzt. Doch was die chemische Welt für Menschen intuitiv erfassbar macht, ist für eine Software nur eine Ansammlung schwarzer und weißer Pixel. »Um die Informationen aus Strukturformeln in Datenbanken nutzbar zu machen, die automatisiert durchforstet werden können, müssen sie in einen maschinenlesbaren Code übersetzt werden«, erläutert Christoph Steinbeck, Professor für Analytische Chemie, Chemieinformatik und Chemometrie der Uni Jena.

Und genau das kann die Künstliche Intelligenz »DECIMER«, die das Team um Prof. Steinbeck und seinen Kollegen Prof. Dr. Achim Zielesny von der Westfälischen Hochschule in Recklinghau-

sen entwickelt hat. DECIMER steht für »Deep Learning for Chemical Image Recognition« und ist eine Open-Source-Plattform, die für alle im Internet frei verfügbar ist und in einem normalen Internetbrowser genutzt werden kann. Dort lassen sich wissenschaftliche Artikel, die chemische Strukturformeln enthalten, einfach per Drag-and-drop hochladen und sofort beginnt die KI ihre Arbeit.

»Als Erstes wird das gesamte Dokument nach Abbildungen durchsucht«, erklärt Steinbeck. Danach identifiziert der Algorithmus die enthaltene Bildinformation und klassifiziert diese danach, ob es sich um eine chemische Strukturformel oder ein anderes Bild handelt. Die erkannten Strukturformeln werden schließlich in den chemischen Strukturcode übersetzt oder in einem Struktureditor dargestellt, so dass sie weiterbearbeitet werden können.

## Aus einer Formel wird ein Code

Auf diese Weise wird zum Beispiel aus der chemischen Strukturformel für das Molekül Koffein (oben) der maschinenlesbare Strukturcode CN1C=NC2=C1C(=O)N(C(=O)N2C)C. Dieser lässt sich anschließend direkt in eine Datenbank hochladen und mit weiteren Informationen verknüpfen.

Für die Entwicklung von DECIMER haben die Forschenden moderne KI-Methoden genutzt, wie sie auch in Large Language Models (s. S. 16) verwendet werden. Um seine KI zu trainieren, hat das Team aus den heute bereits vorhan-

denen maschinenlesbaren Datenbanken Strukturformeln erzeugt und als Trainingsdaten genutzt, rund 450 Millionen bisher. Neben Forschenden nutzen bereits auch Firmen das KI-Tool, etwa um aus Patentschriften Strukturformeln in Datenbanken zu übertragen. Auf die Idee, eine KI für die Dekodierung chemischer Abbildungen zu entwickeln, sind Steinbeck und Zielesny vor einigen Jahren gekommen. Die beiden Chemiker interessierten sich für die Entwicklung von KI-Methoden im Zusammenhang mit dem jahrtausendealten asiatischen Brettspiel »Go«. 2016 verfolgten sie wie Millionen Menschen weltweit das spektakuläre Turnier zwischen dem damals besten Go-Spieler der Welt, dem Südkoreaner Lee Sedol, und der Computersoftware »AlphaGo«, was die Maschine 4:1 für sich entschied.

»Das war ein Paukenschlag, der uns gezeigt hat, wie mächtig KI sein kann«, erinnert sich Steinbeck. Bis dahin galt es praktisch als undenkbar, dass es ein Algorithmus mit der menschlichen Kreativität und Intuition in diesem Spiel aufnehmen kann. »Als wenig später eine KI quasi übermenschliche Spielstärke entwickelte, indem sie

nicht – wie noch AlphaGo – aufwendig mit unzähligen Verläufen von menschlichen Spielen trainiert wurde, sondern einfach dadurch, dass das System immer wieder gegen sich selbst spielte und dabei seine Spielweise optimierte, wurde uns klar, dass diese neuen Methoden mit genügend Trainingsdaten auch andere sehr komplexe Probleme lösen können. Das wollten wir für unseren Forschungsbereich nutzen.«

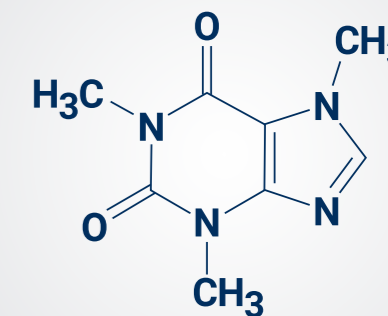
## Wissenschaftliche Informationen nachhaltig nutzbar machen

Steinbeck und sein Team hoffen, mit DECIMER irgendwann sämtliche für sie interessante chemische Literatur zurück bis in die 1950er Jahre maschinell lesen und in offene Datenbanken übersetzen zu können. Denn das vorhandene Wissen nachhaltig zu sichern und der wissenschaftlichen Gemeinde weltweit zur Verfügung zu stellen, ist ein zentrales Anliegen von Steinbeck, der auch Sprecher der Nationalen Forschungsdateninfrastruktur für die Chemie ist.

Das KI-Tool DECIMER ist frei verfügbar unter: <https://decimer.ai>.

Abbildung rechts:  
Chemische Strukturformel von Koffein.

Bild links: Die Idee, zur Erkennung chemischer Abbildungen KI zu nutzen, kam den beiden Forschenden Christoph Steinbeck (l.) und Achim Zielesny (r.) 2016, als die KI »Alpha-Go« den damals besten menschlichen Go-Spieler besiegte.  
Foto: Anne Günther



Original-Publikation:  
DECIMER.ai: an open platform for automated optical chemical structure identification [...]. Nat Commun 14, 5045 (2023). <https://doi.org/10.1038/s41467-023-40782-0>

**Kontakt**  
Prof. Dr. Christoph Steinbeck  
Institut für Anorganische  
und Analytische Chemie  
Lessingstr. 8, 07743 Jena

Telefon: +49 36 41 9-48171  
E-Mail: [christoph.steinbeck@uni-jena.de](mailto:christoph.steinbeck@uni-jena.de)  
[www.chemgeo.uni-jena.de/iaac](http://www.chemgeo.uni-jena.de/iaac)



## Wie KI Kommunikation verändert

Die Kommunikationswissenschaftlerin Prof. Dr. Edda Humprecht wertet mit Hilfe Maschinellen Lernens Social-Media-Beiträge aus, die inzwischen auch von KIs produziert werden. Im Interview erläutert sie, welchen Einfluss KI auf die journalistische Berichterstattung hat, wie Nutzerinnen und Nutzer mit KI-generierten Social-Media-Inhalten umgehen und welche Wirkung KI-produzierte Informationen haben können.

INTERVIEW: IRENA WALINDA

### WobegegnenwirKünstlicherIntelligenz in unserer Kommunikation?

Künstliche Intelligenz ist in unserer Kommunikation allgegenwärtig: Empfehlungsalgorithmen unterbreiten uns Vorschläge beim Online-Shopping oder beim Musikstreaming; Nachrichten werden uns vorgeschlagen, die uns interessieren könnten. Darüber hinaus gibt es Übersetzungsdienste wie DeepL, Google Translate oder ChatBots, die Unternehmen im Kundensupport einsetzen, um Probleme zu lösen und den Service zu erhöhen.

### Wie nutzen Sie KI in Forschung und in Lehre?

In der Forschung spielt KI eine große Rolle. Wir arbeiten mit Maschinellem Lernen. Das heißt, dass KI uns dabei hilft, den Inhalt von digitaler Kommunikation zu verstehen und wir trainieren Algorithmen mit manuell kodierten Daten. Künstliche Intelligenz ist aber auch ein Forschungsgegenstand, denn uns interessiert, welche Auswirkungen der Einsatz von KI auf den Journalismus und die Nachrichtennutzung hat oder wie KI reguliert werden sollte.

Ich nutze ChatGPT beispielsweise für Empfehlungsschreiben, die Studierende für Bewerbungen nutzen. Dafür lasse ich ChatGPT einen Entwurf erstellen, den ich dann überarbeite. Das entlastet mich und beschleunigt Prozesse.

### Wird KI in den Nachrichten- und Medienredaktionen eingesetzt?

Im Bereich Journalismus oder Nachrichtenproduktion ist der Einsatz von

KI ein ganz großes Thema. Viele Redaktionen experimentieren damit. Sie versuchen, effizienter zu arbeiten, Bilder zu generieren mit Midjourney oder Stable Diffusion oder einfache Texte wie Börsennachrichten oder Rezepte zu erstellen. Bislang sind das nur Versuche, aber viele Newsrooms arbeiten damit.

### Welche Auswirkungen hat der Einsatz KI-basierter Technologien?

Die Kommunikation verändert sich, aber das tat sie schon immer. Der Einsatz von generativer KI (s. S. 16) kann durchaus Vorteile bringen: Bestimmte Prozesse beschleunigen sich, weil generative KI-Systeme wie ChatGPT als Assistenten eingesetzt werden, die bestimmte Arbeiten übernehmen, Prozesse beschleunigen und Journalisten und Journalistinnen entlasten und ihnen mehr Zeit einräumen z. B. für investigative Recherche. Dann werden Deep-Learning-Tools oder Maschinelles Lernen auch eingesetzt, um große Datenmengen im Journalismus auszuwerten z. B. bei Leaks, wo Recherchenetzwerke erst einmal große Datenmengen entschlüsseln müssen.

### Gibt es auch Gefahren beim Einsatz von KI im Journalismus?

Es gibt natürlich auch Risiken, wenn wir über Falschinformationen sprechen oder Deepfakes, also gefälschte Videos, Audios oder Bilder, die mit Hilfe von KI-Tools Informationen in einen falschen Kontext setzen. Das kann zur Folge haben, dass Nutzerinnen und Nutzer eine generelle Skepsis gegenüber Inhalten entwickeln, die

sie online sehen. Das ist einerseits gut, wenn nicht alles geglaubt wird, aber es kann auch zu einem generellen Vertrauensverlust gegenüber Online-Medien führen. Einige Menschen nehmen dann die Haltung ein, dass alles relativ sei oder gar nichts mehr stimmen würde – sie empfinden ein Gefühl von Machtlosigkeit. Das sehen wir in der Forschung schon vor dem Einsatz von KI in der Kommunikation. Nutzerinnen und Nutzer wenden sich bewusst ab und wollen keine Nachrichten mehr lesen oder anschauen. Das ist zu Krisenzeiten oder zur Zeit der Pandemie stärker ausgeprägt, das geht einher mit einer gewissen Überforderung, mit all den negativen Informationen umzugehen, denen man ausgesetzt ist. Dieser Trend kann sich noch verstärken, wenn die Verbreitung von Deepfakes zunimmt.

### Welche neuen Fähigkeiten müssen Menschen im Umgang mit KI erwerben?

Menschen müssen die Fähigkeiten dazu besitzen, die Ergebnisse der KI überprüfen zu können, denn wir stellen immer wieder fest, dass diese fehlerhaft sind. Die Übersetzungen sind nicht richtig oder Bilder und andere Inhalte und Texte stimmen nicht. Im Augenblick sehen wir das deutlich beim Nahost-Konflikt. KI-generierte Bilder werden verbreitet, falsche Informationen übermittelt oder in einem falschen Kontext interpretiert. Es gibt das Bildbeispiel eines kleinen Jungen in Gaza, der hilflos in die Kamera schaut. Wenn man aber



Edda Humprecht ist Professorin für Digitale Kommunikation und Öffentlichkeit und erforscht unter anderem, wie Desinformation in den Sozialen Medien die Gesellschaft verändert. · Foto: Jens Meyer

genau hinsieht, erkennt man viele Unstimmigkeiten im Bild: Einige Schatten stimmen nicht, die Palästinenserfahne auf dem T-Shirt ist nicht richtig dargestellt und an einer Hand hat er sechs Finger. An diesem Beispiel sieht man deutlich, wie wichtig der befähigte Mensch ist, der solche Desinformationen richtigstellt.

### Was können Journalisten und Journalistinnen tun?

Die Recherchearbeit von Journalisten und Journalistinnen, die Einordnung und die Berichterstattung gerade aus Krisengebieten, von denen wir ausschließlich über Medien erfahren, sind wichtiger denn je. Wenn KI-Informationen ungeprüft veröffentlicht werden, ist das hochriskant und dann werden wir sehen, dass noch mehr Falschinformationen auftauchen. Auch die Redaktionen, die beispiels-

weise an Faktenchecks arbeiten sind wichtig. Unsere Forschung zeigt, dass Richtigstellungen durchaus eine Wirkung haben.

### Gibt es Kontrollmechanismen oder -modelle, um KI-generierte Inhalte kenntlich zu machen und Manipulationen zu entlarven?

Die Auffindbarkeit von manipulierten Bildern ist schwierig, weil sich die Technologien sehr schnell weiterentwickeln. Digitale Wasserzeichen könnten Urheberrechte schützen, wenn beispielsweise KI-generierte Bilder weiterverwendet werden. Man muss jedoch deutlich sagen, dass die Manipulationsversuche von Menschen kommen, nicht von der KI. Die Interpretationsleistung, dass ein Bild in einem falschen Kontext veröffentlicht wurde, kann auch nur von Menschen kommen.

### Ist hier nicht die Politik gefordert?

Das sogenannte KI-Gesetz der Europäischen Union sieht Regulierungen vor. Diese Regeln sind extrem wichtig – auch für uns Forschende, denn ein riesiges Problem ist der Zugang zu Daten. Große Tech-Giganten wie Microsoft oder Meta arbeiten intransparent. Wir können oft nicht nachvollziehen, wie die jeweiligen Algorithmen funktionieren und welche Daten verwendet wurden, um sie zu trainieren. Den Zugang zu Daten von den Social-Media-Plattformen, die wir auswerten wollen, haben wir ebenfalls oft nicht. Darum sind die Regulierungen des KI-Gesetzes für uns sehr wichtig, nicht nur um die User vor Manipulationsversuchen zu schützen, sondern auch um Zugang zu den Daten für die Wissenschaft zu bekommen. ■

## Wem gehören KI-generierte Werke?

Der Papst im dicken Daunenmantel; Wladimir Putin kniend vor Chinas Präsident – Desinformation durch KI nimmt ganz neue Dimensionen an. Aber nicht nur gefälschte Bilder, die oftmals nicht direkt als solche erkannt werden, stellen uns vor Herausforderungen. Auch in anderen Belangen wirft der Vormarsch der KI Fragen auf – etwa, wenn es um geistiges Eigentum geht. Wem »gehören« zum Beispiel Bilder, die mit Hilfe KI-gestützter Programme erstellt werden?

TEXT: LAURA WEISSERT

Prof. Dr. Volker Michael Jänich ist Inhaber des Gerd-Bucerius-Lehrstuhls für Bürgerliches Recht mit deutschem und internationalem Gewerblichen Rechtsschutz an der Universität Jena. Einer seiner Forschungsschwerpunkte ist das Recht des geistigen Eigentums. KI bringe durchaus neue Nuancen in seine Arbeit: »Wir sind dadurch gezwungen, unsere schon früher bestehenden Forschungsfragen nachzuschärfen und darüber nachzudenken, warum genau wir etwas schützen.«

Als geistiges Eigentum gelten beispielsweise Texte oder Bilder, die durch das Urheberrecht geschützt werden, aber auch Erfindungen oder Marken, die dem Patent- und Markenrecht unterliegen. »Das sind menschliche, geistige Schöpfungen, die wir für schutzwürdig halten«, erklärt Jänich. Urheber-, Patent- oder auch Designrechte sind Ausschließlichkeitsrechte. Das bedeutet, die ausschließliche Verwertungs-

befugnis liegt bei der Urheberin, dem Erfinder oder der Designerin. Voraussetzung für die urheberrechtliche Schutzfähigkeit ist, dass das Werk ein Mindestmaß an Individualität oder Originalität aufweist. Anders gesagt, die Persönlichkeit des Urhebers oder der Urheberin muss darin zum Ausdruck kommen. Ob im Entstehungsprozess Hilfsmittel wie beispielsweise Photoshop eingesetzt wurden, ist dabei unerheblich. Aber gilt das auch für KI?

### Kann eine KI im juristischen Sinne Urheberin sein?

Ein Beispiel: Viktoria Schrön, wissenschaftliche Mitarbeiterin an Jänichs Lehrstuhl, lässt von der Software DeepDream Bilder generieren. Sie wünscht sich »ein Bild, auf dem sich zwei Katzen auf einem fremden Plane-

ten treffen«, als Stilrichtung gibt sie Digital Art vor. Ausgehend von diesem ursprünglichen Prompt erstellt DeepDream unter Nutzung eines künstlichen neuronalen Netzes ein Bild (siehe Abbildung rechts). »Der erste Versuch hat mir nicht gefallen, also habe ich die Angaben noch einmal verfeinert und so lange nachgesteuert, bis ich zufrieden war.«

Sind die von DeepDream generierten Weltraumkatzen nun urheberrechtlich schutzfähig? »Bekomme ich das Urheberrecht in meiner Funktion als Benutzerin der KI? Oder nur, wenn ich die KI auch selbst programmiert habe? Bekommt die KI das Urheberrecht oder niemand?«, fragt Schrön.

So viel vorweg: Eine KI kann weder Urheberin noch Erfinderin sein, da diese Begriffe im Urheberrecht bzw. Patentrecht – zumindest derzeit – auf den Menschen ausgerichtet sind. Es bleiben also nur zwei Optionen: Entweder das Bild ist schutzlos oder es ist schutzfähig durch den Menschen, der an seiner Entstehung mitgewirkt hat. »Hier ist die Frage, ob die Gestaltungsentscheidungen, die ich im Voraus getroffen habe, indem ich der KI einen Prompt gegeben habe, ausreichen, um die Schutzfähigkeit zu begründen«, sagt Schrön. In der Rechtswissenschaft gibt es hier aktuell noch keinen Konsens. Viktoria Schrön hat erst kürzlich ihre Dissertation zum Thema KI und Patentrecht geschrieben. Den Unterschied zum Urheberrecht sieht sie im Grad der persönlichen Bindung. »Natürlich gibt es auch zwischen Patent und Erfinder eine Verbindung, aber für das Patentrecht ist sie nicht so entscheidend, da man an naturwissenschaftliche Gesetze gebunden ist. Demgegenüber sind im Urheberrecht der Fantasie keine Grenzen gesetzt, weshalb es hier darauf ankommt, dass der individuelle Geist zum

Diese Kätzchen sind KI-generiert. Als Urheberin im juristischen Sinn gilt die KI dennoch nicht. Grafik: DeepDream



Ausdruck kommt.« Für Schrön ist es deshalb durchaus denkbar, dass einer Person das Patentrecht für eine Erfindung zugeschrieben wird, auch wenn eine KI zum Einsatz kam.

### KI-Training mit urheberrechtlich geschütztem Material

Doch die Debatte um KI und Urheberrecht hat noch eine andere Seite. Generative KI kann keine Werke aus dem Nichts erschaffen. Damit Programme wie ChatGPT Texte erstellen können, müssen sie zunächst trainiert werden. Um selbst Bilder generieren zu können, muss eine Software wie DeepDream erst einmal mit Bildern »gefüttert« werden. Hierfür werden auch urheberrechtlich geschützte Werke genutzt – oftmals ohne Zustimmung oder sogar ohne Kenntnis der Rechteinhabenden. Künstlerinnen oder Autoren würden von den Entwicklern generativer KI-Programme ausgebeutet, so der Vorwurf vieler Kreativer, wenn beispielsweise Buchcover von einer KI gestaltet werden, die dafür auf Werke menschlicher Grafikdesignerinnen und -designer zurückgreift. In Deutschland erlaubt der 2021 eingeführte § 44b des Urheberrechtsgesetzes zumindest das sogenannte Text- und Data-Mining – »die automatisierte Analyse von einzelnen oder mehreren digitalen oder digitalisierten Werken, um daraus Informationen insbesondere über Muster, Trends und Korrelationen zu gewinnen.« Rechteinhaber haben zwar die Möglichkeit, mit einem Nutzungsvorbehalt dem Text- und Data-Mining zu widersprechen, ob sie die Verwendung ihrer Werke damit aber tatsächlich verhindern können, ist zumindest fraglich. Rechtlich noch ungeklärt ist, ob das Training von

KI-Modellen mit urheberrechtlich geschützten Werken von diesem Paragraphen gedeckt ist. Für Jänich ist die Sache jedoch klar: Er sieht das Trainieren als Urheberrechtsverletzung an. Allerdings, so räumt er ein, gebe es derzeit keinen effektiven Rechtsschutz gegen diese Praxis.

Doch es regt sich Widerstand: Als erster großer Verlag begehrt die »New York Times« gegen diese Praxis auf und hat Ende 2023 Microsoft und OpenAI verklagt. Sie sieht das Urheberrecht verletzt, weil die Unternehmen ChatGPT mit Millionen urheberrechtlich geschützter Artikel gefüttert hätten und somit auf Kosten der Zeitung Geschäfte machten. Bereits zuvor hatten namhafte Autorinnen und Autoren in den USA OpenAI verklagt, weil sie vermuten, dass die KI mit ihren Büchern trainiert wurde. Jänich und Schrön sind skeptisch, ob vergleichbare Klagen in Europa erfolgreich sein werden. Anstatt sich gegen die Nutzung seiner Werke zu wehren, hat beispielsweise der Axel-Springer-Verlag eine Partnerschaft mit OpenAI geschlossen. Der Verlag bekommt nun Geld dafür, dass ChatGPT auf journalistische Texte der Springer-Publikationen zurückgreifen darf.

### Wie Urheberrechte im Zeitalter der KI geschützt werden können

Währenddessen arbeiten Forschende an Möglichkeiten für Künstlerinnen und Künstler, sich gegen die unautorisierte Nutzung ihrer Werke durch KI zu wehren. Mit dem kürzlich erschienenen Tool »Nightshade« etwa können einzelne Pixel eines Bildes manipuliert werden. Für das menschliche Auge ist eine solche Änderung unsichtbar, sie führt aber zu Störungen bei KI-Programmen, die ein auf diese Weise manipuliertes Bild ohne Erlaubnis nutzen. Die KI könnte dann beispielsweise eine im Weltraum schwebende Handtasche liefern, obwohl im Prompt eine im Weltraum schwebende Kuh gefordert wurde, so die »Nightshade«-Entwickler auf ihrer Website.

Klar ist: KI wird künftig in immer mehr Lebensbereiche vordringen und damit neue Fragen aufwerfen. Die Rechtswissenschaft steht bei der Beurteilung von Fragen zu KI und dem Recht des geistigen Eigentums noch ganz am Anfang. Um Antworten zu finden, braucht es neue Wege für Rechteinhaber, ihr geistiges Eigentum zu schützen. Denn eines kann KI nicht: menschliche Kreativität ersetzen. ■

Prof. Dr. Volker Michael Jänich und Viktoria Schrön gehen juristischen Fragen zum Urheberrecht bei der Nutzung generativer KI-Tools nach. Foto: Anne Günther





Prof. Dr. Christoph Demmerling · Foto: Anne Günther

## Ohne Bewusstsein und Vernunft

KI ist ein mächtiges und immer mächtiger werdendes Werkzeug. Doch über diesen Status wird sie nach Ansicht des Philosophen Prof. Dr. Christoph Demmerling nicht hinauskommen. Warum die Übernahme der »Weltherrschaft« durch KI nicht zu befürchten ist und dass dieses Szenario vor allem etwas über tiefsitzende menschliche Ängste aussagt, erklärt er im Gespräch mit unserem Autor.

TEXT: STEPHAN LAUDIEN

Es gibt Dinge, die lassen sich schwer beschreiben. Etwa das Gefühl, in einen reifen Pfirsich zu beißen, das faserige Fruchtfleisch zu schmecken und den Saft zu spüren, der die Mundwinkel hinabrinnt. Und obwohl sich dieses Empfinden nur schwer in Worte fassen lässt, werden sicherlich die meisten Menschen diese oder eine ähnliche Erfahrung abrufen können.

»Eine Künstliche Intelligenz hingegen kann vielleicht die Inhaltsstoffe des Pfirsichs bestimmen, doch den Genuss wird sie niemals nachempfinden können«, ist Prof. Dr. Christoph Demmerling überzeugt. Denn Geschmackserfahrungen setzen Bewusstsein voraus, über welches künstliche Systeme nicht verfügen. Der Philosoph von der Universität Jena kann die aktuell weit ver-

breitete KI-Euphorie nicht teilen. »KI ist ein Werkzeug, so wie eine Säge, ein Auto oder ein Taschenrechner Werkzeuge sind.«

### Ein Werkzeug, das auch missbraucht werden kann

Im Vergleich zu Hammer oder Säge sehe er höchstens graduelle Unterschiede, keine qualitativen. Es komme darauf an, wie Menschen diese Werkzeuge nutzen. Das schließe die missbräuchliche Verwendung mit ein, etwa das Erstellen und Verbreiten von Deepfakes im Internet. Natürlich seien Fälschungen mit Hilfe von KI heute einfacher, aber Fälschungen habe es schon immer gegeben, in Zeiten von KI erfordere das

Erkennen von Fälschungen einfach mehr Aufmerksamkeit.

Christoph Demmerling sieht mit Blick auf Künstliche Intelligenz eher andere Gefahren. Wer sich beispielsweise stets auf sein Navigationssystem verlasse, sei buchstäblich verlassen, wenn die Technik einmal ausfällt. Als nicht unproblematisch sieht er auch KI-Anwendungen in der Verwaltung. Sie könnten zwar durchaus Vorgänge beschleunigen und vereinfachen, stießen jedoch an ihre Grenzen, wenn Sonderfälle auftreten, die »mit Augenmaß« behandelt werden müssten. Und das erfordere eigene menschliche Urteilskraft. »Daten-gestützte KI-Tools können dem Menschen zuarbeiten, zu eigenständigen bürokratischen oder gar wissenschaftlichen Leistungen sind sie jedoch nicht in der Lage.«

### Vielfältige Verbindung zur Welt

Im vergangenen Jahr sorgte die Forderung nach einem Moratorium für KI-Modelle für Schlagzeilen: Es solle eine Pause in deren Entwicklung eingelegt werden, um die potenziellen Gefahren zu diskutieren.

Übernimmt KI eines Tages die Weltherrschaft? Christoph Demmerling schmunzelt. Solche Vorstellungen seien Ausdruck tiefsitzender menschlicher Ängste nach dem Muster von Goethes »Zauberlehrling«, in dem sich das Werkzeug gegen seinen Meister wendet. Eine solche Umkehrung der Verhältnisse von Mensch und Maschine würde jedoch voraussetzen, dass der Maschine etwas wichtig ist, sie von etwas betroffen wird und relevante Zusammenhänge herstellen kann. All das könnten Maschinen nicht, die über kein Bewusstsein verfügen. »Ein solches Bewusstsein lässt sich nicht künstlich erschaffen, weil es vielfältige, auch emotionale Verbindungen zur Welt voraussetzt«, sagt Christoph Demmerling.

Ebenso wenig könne KI vernünftige Entscheidungen treffen, weil allein der Zugriff auf große Datenmengen dazu nicht ausreicht, sondern man die für eine Situation relevanten Zusammenhänge erkennen müsse. »Das«, so Demmerling, »geht nicht ohne Bewusstsein und Gefühle.« Man muss ein Gespür für dasjenige besitzen, das wichtig ist. ■

## Ihrer Zeit voraus

Vor 100 Jahren, im Herbst 1923, wurde Mathilde Vaerting als erste ordentliche Professorin Deutschlands an die Universität Jena berufen. Unter ihren Kollegen stieß die Pädagogin jedoch auf Ablehnung – vor allem, weil sie eine Frau war.

TEXT: SEBASTIAN HOLLSTEIN

Erste ordentliche Professorin an einer deutschen Universität – was heute nach einer bedeutenden gesellschaftlichen Errungenschaft und nach einer historischen Zäsur klingt, war für Mathilde Vaerting zeitlebens eine große Bürde. Denn die Universität Jena und ihre Professoren empfingen sie im Wintersemester 1923/24 nicht mit offenen Armen, sondern mit der kalten Schulter. Ihre Antrittsvorlesung »Erziehung zum Kulturfortschritt« – eigentlich ein feierlicher Moment – hielt sie anstatt in festlichem Rahmen in der Aula, an einem Samstagvormittag in einem kleinen Hörsaal, ohne dass eine größere Öffentlichkeit davon Notiz nahm. Doch warum stieß die Personalie auf so viel Widerstand?

Johanna Mathilde Vaerting, geboren 1884 im Emsland in eine begüterte und kinderreiche Bauernfamilie, studierte Mathematik, Physik, Philosophie, Psychologie und Latein in Bonn, München, Marburg und Gießen und wurde 1911 in Bonn im philosophischen Bereich promoviert. Nach ihrem Studium arbeitete sie als Lehrerin in Berlin, forschte nebenbei und besuchte Lehrveranstaltungen in Medizin und Soziologie.

### Geschlecht spielt bei Bildung keine Rolle

Ihre Forschungsarbeiten richteten sich schon früh gegen etablierte Lehrmeinungen und Unterrichtspraktiken, etwa wenn sie sich gegen das Auswendiglernen als Unterrichtsmethode und für eine Gleichberechtigung zwischen Lehrenden und Lernenden aussprach. Zudem widmete sie sich zunehmend einem Wissenschaftsbereich, den es zu diesem Zeitpunkt kaum gab: der Geschlechterforschung. Mathilde Vaer-

ting stellte dabei klar heraus, dass das Geschlecht bei der Bildung keine Rolle spiele. Mädchen seien in naturwissenschaftlichen Bereichen nicht weniger begabt als Jungen. Unterschiede entstünden nur durch verschiedene gesellschaftliche Machtpositionen – angeblich geschlechtsspezifische Eigenschaften seien ein Resultat von Herrschaftsverhältnissen. Sie verband auf diese Weise pädagogische, psychologische und soziologische Ansätze miteinander und öffnete den Weg für neue wissenschaftliche Fragestellungen.

Ihre Habilitationsschrift, die sie 1919 an der Universität Berlin eingereicht hatte, wurde nicht zuletzt wegen Vorbehalten gegen das Forschungsgebiet abgelehnt. Trotzdem verschaffte ihr die veröffentlichte Fassung der Arbeit mit dem Titel »Die Neubegründung der Psychologie von Mann und Weib« Bekanntheit und Anerkennung und befeuerte möglicherweise ihre wissenschaftliche Laufbahn. Denn der damalige Thüringer Minister für Volksbildung Max Greil berief sie 1923 im Rahmen einer umfassenden Reform des Thüringer Schulwesens als Professorin für Pädagogik an die Universität Jena. Deren Leitung sah darin jedoch einen Eingriff in ihre Autonomie – erst recht, da hier erstmals eine Frau einen Lehrstuhl besetzte. Kollegen sprachen ihr die fachliche Eignung ab. Der Zoologe und Antisemit Ludwig Plate veröffentlichte sogar eine Schmähchrift mit dem Titel »Feminismus unter dem Deckmantel der Wissenschaft« gegen sie. Peter

Petersen, den Greil ebenfalls nach Jena berufen hatte, sah sich weitaus weniger behelligt und baute seine Position an der Universität auch auf Kosten der Kollegin aus.

Nach der »Machtergreifung« der Nationalsozialisten 1933 verlor Vaerting ihre Professur und wurde vom Hochschuldienst ausgeschlossen. Sie zog zurück nach Berlin. Ein Ausreiseverbot verhinderte, dass sie Rufe an Universitäten in den Niederlanden oder in den USA annehmen konnte. Ein Publikationsverbot verhinderte das Fortführen ihrer wissenschaftlichen Arbeit.

Auch nach dem Ende des Zweiten Weltkriegs blieb ihr die Rückkehr an eine Universität verwehrt. Sie wandte sich der Staatssoziologie zu, konnte aber nicht mehr Fuß fassen in der Wissenschaft. Mathilde Vaerting starb am 6. Mai 1977 in Schönau im Schwarzwald.



Foto: Universitätsarchiv Bielefeld

Seit den 1990er Jahren wird ihr Werk wiederentdeckt. Heute gilt sie als wenig bekannte, aber nicht weniger bedeutende Vorreiterin einer Pädagogik, die gesellschaftlichen Machtverhältnissen und der Wirkung von Differenzkategorien Rechnung trägt.

Seit Herbst 2023 erinnert eine Gedenktafel im Universitätshauptgebäude an Mathilde Vaerting. Außerdem veröffentlichte die Gesellschaft zur Erforschung der Demokratiegeschichte gemeinsam mit der Universität eine umfangreiche Broschüre zu Leben und Werk der ersten ordentlichen Professorin an einer deutschen Universität. ■

## »Man muss sich selbst ins Spiel bringen«

Juniorprofessorin Dr. Anika Klafki ist bundesweit vielen Menschen bekannt: Als 2020 die Corona-Pandemie auch Deutschland erreichte und die Politik teils drastische Schutzmaßnahmen ergriff, erläuterte die Juristin in zahlreichen Fernsehinterviews und Diskussionsrunden deren rechtliche Spielräume und Grenzen. Inzwischen hat die WHO die Pandemie für beendet erklärt und Klafki stellt sich einer neuen verantwortungsvollen Herausforderung – als Richterin am Thüringer Verfassungsgerichtshof.

TEXT: UTE SCHÖNFELDER

Nachdem Anika Klafki im Herbst 2019 mit ihrem Ehemann von Hamburg nach Jena gezogen war, ging alles ganz schnell: Die Juristin hatte gerade ihre Juniorprofessur mit Tenure Track für Öffentliches Recht, insbesondere transnationales Verwaltungsrecht an der Uni Jena angetreten. Da tauchte die Nachricht über ein bislang unbekanntes Virus auf, das in China schwere Lungenerkrankungen verursachte. Auch wenn zu diesem Zeitpunkt noch nicht abzusehen war, dass »SARS-CoV-2« die Welt für die kommenden drei Jahre in Atem halten würde, war Anika Klafki sofort alarmiert. Schließlich lagen gerade mehrere Jahre Forschungsarbeit zum Thema Pandemien hinter ihr. Ihr war schnell klar, was damit auf die Menschheit zukommen konnte.

Zu diesem Zeitpunkt hatte Anika Klafki mit ihrer Doktorarbeit »Risiko und Recht« in der Fachwelt bereits für Aufmerksamkeit gesorgt: Für die Arbeit, in der sie sich insbesondere mit juristischen Fragen, die im Umgang mit Pandemien auftreten, befasste, hatte sie nicht nur den Promotionspreis der Bucerius Law School, an der sie promoviert wurde, erhalten. Sie war auch 2017 als eines der fünf besten juristischen Bücher des Jahres gelistet worden. »Und das, obwohl das Thema Pandemien zum damaligen Zeitpunkt noch ein absolutes Nischenthema war«, erinnert sich Klafki.

### Binnen Wochen zur gefragten Expertin für Medien und Politik

Mit dem Aufziehen der Corona-Pandemie Ende 2019 rückte diese Nische jedoch ins Zentrum der Weltöffentlichkeit und Anika Klafki machte sich auch außerhalb ihres Faches als gefragte Expertin einen Namen. Binnen weniger Wochen wurde sie bundesweit zum Mediengesicht, erklärte in zahlreichen Interviews das Infektionsschutzgesetz und die rechtlichen Konsequenzen von Corona-Schutzmaßnahmen, sprach in den »Tagesthemen«, diskutierte bei Maybrit Illner und wurde als Sachverständige für den Bundestag und den Thüringer Landtag eingeladen.

Genau vier Jahre später, im November 2023, sitzen wir in ihrem Büro am Ernst-Abbe-Campus. Anika Klafki hat Kaffee gemacht. Sie spricht schnell. Sie hat nicht viel Zeit. Um 12 Uhr muss sie weg, sagt sie. Der zweijährige Sohn ist krank und kann deshalb nicht in die Kita. Sie wird ihren Ehemann ablösen, der den Vormittag über das Kind betreut.

Dass sich die mediale Aufmerksamkeit inzwischen wieder etwas gelegt hat, ist ihr ganz recht. War diese doch mit einem enormen Zeit- und Energieaufwand verbunden. Zeit und Energie, die sie jetzt für neue Aufgaben braucht. Nicht nur für ihre Familie, sondern auch für ein neues Ehrenamt, das sie neben ihrer wissenschaftlichen Karriere ausübt: 2022 ist Anika Klafki zur Richterin des Thüringer Verfassungsgerichtshofs gewählt worden – und das mit gerade einmal 35 Jahren.

### Nicht für kleine Schritte gemacht

Klafki kommt ursprünglich aus Marburg in Hessen. Während ihrer Kindheit ist die Familie oft umgezogen, ihr Vater war in der Entwicklungszusammenarbeit tätig. Die Familie hat im Ausland gelebt, in Afrika und Indien, in der damaligen Bundeshauptstadt Bonn und später in Berlin. Dort hat sie auch das Abitur gemacht.

Schon während der Schulzeit wollte sie nie etwas anderes werden als Juristin. Obwohl sie anfangs gar nicht genau wusste, was ein Jurist oder eine Juristin überhaupt macht. »Dann hat mir jemand gesagt, Juristen müssten sich viel streiten und da dachte ich, OK, das kann ich richtig gut. Das ist ein guter Beruf für mich«, erinnert sie sich und lacht. Später sei es ihr vorrangig darum gegangen, einen Beruf zu wählen, bei dem es um gute Argumente zu Fragen mit gesellschaftspolitischer Relevanz geht. Lange habe sie vor allem einen menschenrechtlichen Fokus gehabt und sich vorgestellt, eines Tages bei einer internationalen Menschenrechtsorganisation oder den Vereinten Nationen zu arbeiten. »Dann habe ich die UN von innen erlebt«, sagt Anika Klafki und schildert, wie sie von einem Praktikum in der deutschen Vertretung bei den Vereinten Nationen in New York recht desillusioniert zurückkehrte.

»Papier ist geduldig«, bringt sie ihre Erfahrung auf den Punkt. Sie fand es unbefriedigend zu erleben, wie eine Armada von sehr gut bezahlten Diplomaten und Diplomaten tagtäglich an Resolutionen feilt und dabei zwar um jedes einzelne Wort ringt, »diese Texte aber kaum Steuerungseffekte in der Realität haben.« Das sei zwar nicht verwunderlich, räumt sie ein, denn, wenn die ganze Welt zusammenkommt, dann sind die Schritte, auf die sich alle einigen können, eben sehr klein. Für sie persönlich sind sie aber einfach zu klein.



Wissenschaftlerin, Richterin und gefragte Expertin – die Juristin und Juniorprofessorin Anika Klafki. · Foto: Anne Günther

Als sie einige Zeit später – das Studium hatte sie inzwischen abgeschlossen – am öffentlich-rechtlichen Lehrstuhl von Prof. Dr. Hermann Pünder an der Bucerius Law School in Hamburg eine wissenschaftliche Assistentenstelle antrat, wurde ihr recht schnell klar, wohin sie sich stattdessen beruflich weiterentwickeln wollte. »Das wissenschaftliche Arbeiten hat mir von Beginn an viel Spaß gemacht.« Am Lehrstuhl habe sie ein sehr leistungsstarkes Team gefunden, das sie selbst vielfältig gefördert und inspiriert hat. Klafki fing an, erste eigene Veröffentlichungen zu publizieren, Konferenzen zu besuchen und Vorträge zu halten. Sie engagierte sich darüber hinaus in einem Netzwerk junger Juristinnen und Juristen – dem Verein »Junge Wissenschaft im Öffentlichen Recht e. V.« –, über dessen Portal »juwiss.de« sie regelmäßig Beiträge zu aktuellen rechtspolitischen Themen veröffentlichte.

### Anika Klafki wurde nicht zufällig zur Expertin

So auch zu Beginn der Corona-Pandemie. Dass sie 2020 zur gefragten Expertin für Medien und Politik in Sachen Infektionsschutzgesetz und Lockdown-Maßnahmen wurde, sei keineswegs zufällig passiert. »Ich habe mit gezielten Blog-Posts auf mich aufmerksam gemacht.« Denn weder Journalistinnen und Journalisten, noch Parlamentarierinnen und Parlamentarier hätten die Zeit, sich erst durch dicke Bände an Fachliteratur zu arbeiten, um passende Beratung aus der Wissenschaft zu finden. »Da muss man sich schon selbst ins Spiel bringen.«

Vermutlich ebenso wenig zufällig, dennoch überraschend, kam dann eines Tages der Anruf aus der SPD-Fraktionsspitze des Thüringer Landtages, ob sie sich vorstellen könnte, für das Richteramt des Thüringer Verfassungsgerichtshofes zu kandidieren. Die Partei, in der Klafki selbst seit 2005 Mitglied ist, wollte sie als Nachfolgerin des kurz zuvor verstorbenen Verfassungsrichters Manfred Baldus nominieren. »Damit hatte ich nicht gerechnet und brauchte auch erst einmal Bedenkzeit«, sagt sie heute. Sie steckte damals mitten in ihrer Habilitation. Die Zwischenevaluation stand an, die sie bestehen muss, um als Juniorprofessorin auf eine unbefristete Professur zu gelangen und viel Engagement in Forschung und Lehre erfordert. Und nicht zuletzt war sie Mutter eines Kleinkindes.

Doch Kolleginnen und Kollegen, befreundete Personen und Familie bestärkten sie, diese Chance zu ergreifen. Klafki stellte sich zur Wahl und wurde mit der erforderlichen Zweidrittelmehrheit des Landtages gewählt, obwohl die sie vorschlagende Regierungskoalition über keine Mehrheit im Parlament verfügt.

Inzwischen hat Anika Klafki auch diese neue Herausforderung in ihr Arbeitspensum integriert. »Ohne meinen Mann wäre das aber nicht möglich«, unterstreicht sie. Er sei ihr eine wichtige Stütze, sowohl in beruflichen Belangen – er arbeitet ebenfalls als Richter – als auch als Partner und Vater des gemeinsamen Sohnes.

Apropos: Um ihren Sohn muss sie sich jetzt wirklich dringend kümmern. Und dann geht es wieder ganz schnell. »Ich muss los«, sagt sie freundlich und bestimmt, schnappt sich den Fahrradhelm und ist schon auf dem Weg. ■

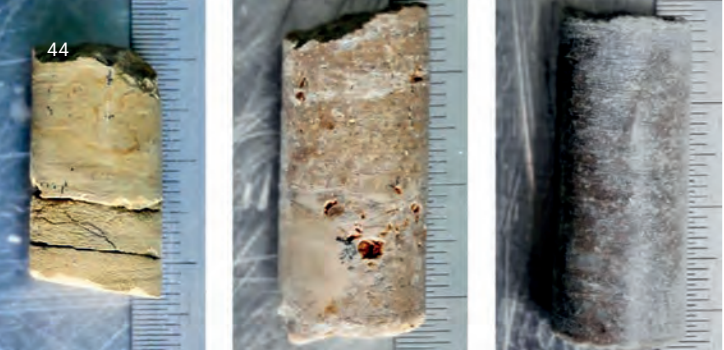


FOTO: ROBERT LEHMANN

## DNA aus der Vergangenheit

Der Großteil der mikrobiellen Biomasse der Erde befindet sich verborgen im Untergrund. Schätzungen zufolge kommen Mikroorganismen bis zu einer Tiefe von fünf Kilometern unter der Kontinentaloberfläche vor. Sie können dort auch festes Gestein besiedeln. Da diese tiefe Biosphäre nur schwer zugänglich ist, wissen Forschende bisher nur wenig über die Zusammensetzung und Rolle dieser Mikroorganismen in biogeochemischen Kreisläufen. Ein Forschungsteam des Exzellenzclusters »Balance of the Microverse« um Prof. Dr. Kirsten Küsel und Prof. Dr. Christina Warinner hat jetzt herausgefunden, dass Kalkstein als Archiv für die mikrobielle Besiedelung des Untergrunds dient. Erste Ergebnisse der Studie sind im Fachjournal »Microbiome« erschienen (DOI: 10.1186/s40168-023-01647-2). Gold/Nieber



FOTO: STOCK.ADOBE.COM

## Resistente Stärke als Präbiotikum

Bei der Behandlung der nichtalkoholischen Fettlebererkrankung könnte resistente Stärke, wie sie in Vollkorngetreiden, Hülsenfrüchten, grünen Bananen und Kartoffeln enthalten ist, künftig eine wichtige Rolle spielen. Wie Studienergebnisse eines Teams des Exzellenzclusters »Balance of the Microverse« um Prof. Dr. Gianni Panagiotou zeigen, kann eine Ernährungsform mit resistenter Stärke nicht nur das Darmmikrobiom positiv beeinflussen, sondern auch zu einer Linderung des Krankheitsverlaufs führen. Die Forschenden stellten bei den Versuchspersonen eine reduzierte Fettsammlung in der erkrankten Leber fest und konnten zudem einen Anstieg bestimmter Bakterienarten im Darm beobachten, die den Fettabbau und -transport in der Leber positiv beeinflussen. Die Ergebnisse sind in »Cell Metabolism« erschienen (DOI: 10.1016/j.cmet.2023.08.002). Nieber



FOTO: ANNE GÜNTHER

## Wasserstoff durch Sonnenlicht

Damit Wasserstoff mit Hilfe von Sonnenlicht nachhaltig produziert werden kann, braucht es nicht nur ein effizientes Katalysatorsystem – letztendlich muss dieses auch günstig, gut verfügbar und ressourcenschonend sein. Ein Schritt in diese Richtung ist nun einem Team um die Chemikerin Prof. Dr. Kalina Peneva (Foto oben, l.) vom Institut für Organische Chemie und Makromolekulare Chemie gelungen. Die Gruppe entwickelte Farbstoffe, die ohne Metalle auskommen, einfach herzustellen sind und die absorbierte Lichtenergie auf einen Katalysator übertragen, der damit Wasserstoff produziert. Seine Ergebnisse hat das Team im »Journal of Materials Chemistry A« veröffentlicht (DOI: 10.1039/D3TA04450E). Darin sind nicht nur die Farbstoffe beschrieben, sondern auch deren Wechselwirkungen mit dem Katalysator. MK



FOTO: J. LINDSEY

## Insekten auf dem Rückzug

Der Rückgang landlebender Insekten wie Käfer, Motten und Heuschrecken ist vor allem auf Verluste bei lokal häufigeren Arten zurückzuführen. Das zeigt eine aktuelle Studie (DOI: 10.1038/s41586-023-06861-4). Geleitet von Forschenden des Deutschen Zentrums für integrative Biodiversitätsforschung (iDiv) und den Universitäten Halle-Wittenberg und Jena, stellt die Meta-Analyse von 923 Standorten weltweit zwei wichtige Tendenzen fest. Erstens sind häufige Arten mit vielen Individuen stärker zurückgegangen als seltene Arten. Zweitens waren die Zunahmen mancher Insektenarten zu gering, um früher beobachtete Häufigkeiten zu erreichen. Dies erklärt die verbreitete Feststellung, dass es heute weniger Insekten gibt als vor zehn, zwanzig oder dreißig Jahren. Für die Analyse sind 106 Studien ausgewertet worden, die über Zeiträume von bis zu 64 Jahren liefen. Coester/iDiv



FOTO: JENS MEYER

## Mumien unter der Lupe

In den Archiven der Universität Jena lagern umfangreiche Sammlungsbestände – darunter auch rund 20 Mumienfragmente. Forschende aus der Ur- und Frühgeschichtlichen Archäologie, der Biologie und der Medizin haben sie erstmals umfassend untersucht und die Ergebnisse in den »Annals of the History and Philosophy of Biology« vorgelegt (DOI: 10.17875/gup2023-2486). Es handelt sich um vier Schädel, ein Rumpffragment, ein Becken, zwei Unterkiefer, zwei Wirbelgruppen, drei linke Füße und einige Gewebereste von ägyptischen Mumien sowie um zwei nahezu vollständig erhaltene Kindermumien aus Südamerika. Woher sie genau stammen, unter welchen Umständen sie gefunden wurden und auf welchem Weg sie nach Jena gelangt sind, ließ sich bislang aber nicht genau klären, sagt Studienleiter Dr. Enrico Paust. sh

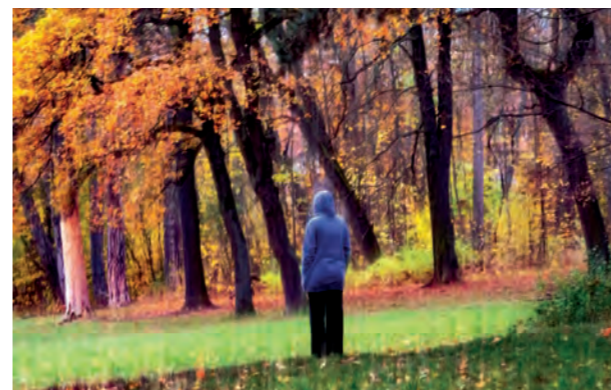


FOTO: JENS MEYER

## Allein heißt nicht unbedingt einsam

Rund 20 Prozent der Deutschen leben allein – Tendenz steigend. Auch in den meisten anderen westlichen Ländern ist dieser Trend zu beobachten. Doch entgegen vorherrschender Vorurteile muss ein Leben allein nicht gleichzeitig Isolation und Einsamkeit mit sich bringen. Das hat ein Team um den Psychologen Prof. Dr. Franz Neyer von der Universität Jena herausgefunden, wie es im »International Journal of Behavioral Development« schreibt (DOI: 10.1177/01650254231206329). Die Forschenden befragten dabei über drei Jahre hinweg rund 400 Personen im Alter zwischen 35 und 60 Jahren. Besonders zufrieden war rund ein Drittel der Befragten, das auf ein großes Netzwerk zurückgreifen kann und täglich verschiedene soziale Kontakte pflegt, unter denen sich sowohl Familie und Freunde als auch Bekanntschaften wie Mitarbeitende oder Nachbarn befinden. sh



ILLUSTRATION: ESA/ATG MEDIALAB; BACKGROUND IMAGE: ESO/S. BRUNIER

## Planeten zwischen mehreren Sonnen

Kai-Uwe Michel und Dr. Markus Mugrauer vom Astrophysikalischen Institut der Universität Jena haben in einer Studie untersucht, wie viele Sterne mit extrasolaren Planeten (Exoplaneten) einen oder sogar mehrere Begleitsterne besitzen und welchen Einfluss diese stellare Multiplizität auf die Eigenschaften der Planetensysteme hat. Für ihre Studie haben die Forscher Beobachtungsdaten des Weltraumteleskops Gaia der europäischen Weltraumagentur ESA (Bild) herangezogen und mehr als 2200 Planeten-Muttersterne auf mögliche Begleitsterne untersucht. Bei etwa jedem fünften Planeten-Mutterstern wurden sie fündig. Insgesamt konnten die Astrophysiker mehrere Hundert neue Begleitsterne nachweisen, wie sie im Magazin »Monthly Notices of the Royal Astronomical Society« schreiben (DOI: 10.1093/mnras/stad3196). US



FOTO: MYRIAM HIRT

## Kunst-Licht gefährdet Ökosysteme

Wie eine Sammlung von Studien über künstliches Licht bei Nacht zeigt, sind die Auswirkungen der Lichtverschmutzung weitreichender als gedacht. Selbst geringe Mengen künstlichen Lichts können Artengemeinschaften und ganze Ökosysteme stören. Die in der Fachzeitschrift »Philosophical Transactions of the Royal Society B« veröffentlichte Sonderausgabe befasst sich mit den Auswirkungen der Lichtverschmutzung auf komplexe Ökosysteme, darunter Boden-, Grasland- und Insektengemeinschaften. Forschende des Deutschen Zentrums für integrative Biodiversitätsforschung (iDiv) und der Universität Jena beschreiben darin den Dominoeffekt, den Lichtverschmutzung auf Funktionen und Stabilität von Ökosystemen haben kann. Dr. Myriam Hirt und Dr. Remo Ryser haben die Sonderausgabe redaktionell geleitet. Coester/iDiv

## »PAPAS« bremst Brustkrebszellen aus

Ein Forschungsteam von Universität und Klinikum Jena sowie Partnern der Universität Shenzhen hat einen molekularen Mechanismus entschlüsselt, der die Synthese ribosomaler RNA reguliert. Ribosomale RNA ist der Dreh- und Angelpunkt bei der Proteinbiosynthese, die für den Aufbau und das Wachstum von Zellen notwendig ist. Wird die Synthese ribosomaler RNA gedrosselt, können Zellen also weniger wachsen – das wollen sich die Forschenden im Falle von Brustkrebszellen zunutze machen.

TEXT: SEBASTIAN HOLLSTEIN

Brustkrebs ist die häufigste Krebserkrankung bei Frauen. Oftmals geht die Entstehung des Mammakarzinoms von Epithelzellen in der Brustdrüse aus – genau den Zellen, die sich während und nach der Schwangerschaft auf die Milchbildung spezialisieren. Ein Team von Forschenden der Friedrich-Schiller-Universität Jena, der Universität im chinesischen Shenzhen sowie des Universitätsklinikums Jena hat diesen Prozess der Spezialisierung nun genauer unter die Lupe genommen und dabei einen molekularen Mechanismus entschlüsselt, der offenbar auch bei der Entstehung von Krebs eine wichtige Rolle spielt. Möglicherweise lassen sich auf der Grundlage dieser Forschungsergebnisse neue Diagnoseverfahren und Behandlungsmethoden von Brustkrebs entwickeln. Über ihre Arbeit berichten die Forschenden in der Fachzeitschrift »Cell Reports«.

### RNA-Synthese an- und abschalten

Die Differenzierung von Zellen, also ihre Spezialisierung, ist wesentlicher Bestandteil eines Organismus – nur durch sie können Zellen unterschiedliche Aufgaben übernehmen. Während der Laktogenese – also dem von Hormonen ausgelösten Prozess, der die Brustdrüsen zur Produktion von Mut-

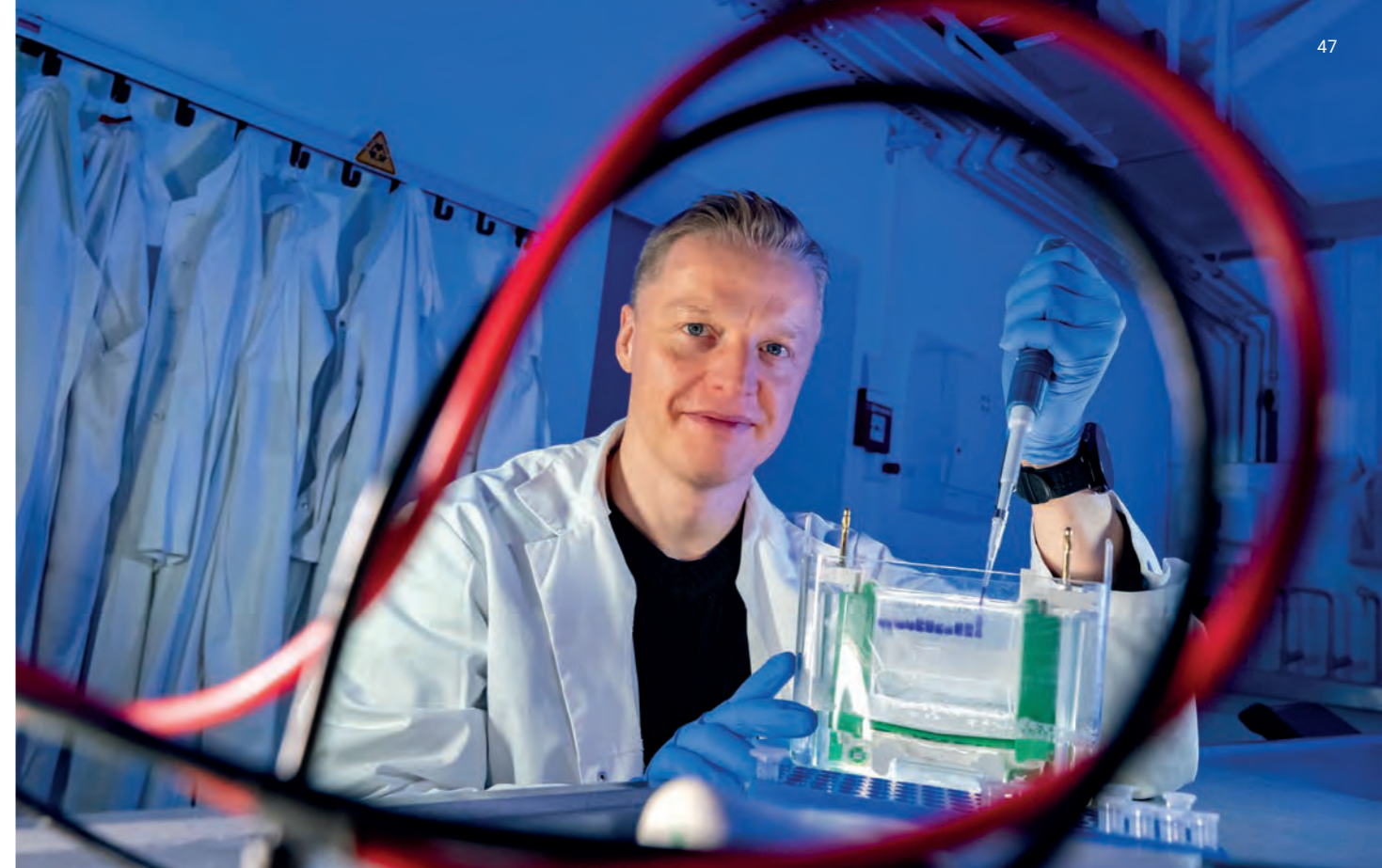
termilch befähigt – vermehren sich zunächst die entsprechenden Zellen. Die hierfür notwendigen Proteine werden durch die Ribosomen hergestellt. Elementarer Baustein der Ribosomen ist die sogenannte ribosomale RNA, kurz rRNA. Werden mehr Proteine benötigt, steigt auch der Bedarf an rRNA – dementsprechend wird ihre Synthese im Zellkern hochgefahren. Am Ende der Laktogenese stellen die spezialisierten Zellen ihr Wachstum ein und drosseln die rRNA-Synthese wieder. Dieser Regulationsmechanismus passiert auf epigenetischer Ebene, das heißt, nicht etwa die DNA selbst verändert sich, sondern ihre Verpackung, wofür eine weitere Art von RNA zuständig ist. »Wir haben herausgefunden, dass die sogenannte lange, nicht-kodierende RNA PAPAS, die ich vor einigen Jahren entdeckt habe, auf die Verpackung der DNA einwirkt und die Produktion der rRNA verringert«, erklärt Dr. Holger Bierhoff, der das Projekt an der Universität Jena leitet. »Genau genommen beeinflusst sie den Zugriff auf die aktiven Bereiche der DNA und sorgt dafür, dass diese in RNA kopiert werden oder nicht. Wird viel rRNA benötigt, um viele Ribosomen – und damit viele Proteine – zu produzieren, wird die Herstellung von PAPAS verringert. Soll dieser Prozess gestoppt werden, dann wird PAPAS verstärkt gebildet.« Außerdem fanden die Jenaer Expertinnen

und Experten heraus, dass PAPAS nicht nur bei der Vermehrung der Zellen eine wichtige Rolle spielt, sondern auch bei der Spezialisierung. »Wir haben PAPAS durch Genmanipulation in Brustepithelzellen ausgeschaltet und konnten danach beobachten, dass die Laktogenese nicht mehr richtig funktionierte«, sagt Bierhoff.

### Hohes PAPAS-Level – geringes Tumorwachstum

Auch in Krebszellen ist die rRNA-Synthese gesteigert, denn sie vermehren sich schnell und benötigen dafür viele Proteine – und entsprechend viele Ribosomen. »Deshalb haben wir uns gefragt, ob der von uns beobachtete Regulierungsmechanismus auch bei der Brustkrebsentstehung eine Rolle spielt. Die Antwort lautet eindeutig: ja«, erklärt der Jenaer Zellbiologe. »Als wir die PAPAS-Synthese verringerten und die Spezialisierung der Zellen ausschalteten, konnten wir beobachten, dass die Zellen zunehmend Eigenschaften von Krebszellen entwickelten.«

Im Gegensatz dazu zeigten die Forschenden sowohl in Zellkulturen als auch an Mäusen, dass ein hohes PAPAS-Level das Tumorwachstum – und auch die Ausbreitung von Metastasen – verringert.



Dr. Holger Bierhoff bereitet eine Gelelektrophorese vor, um Proteine aus einem Zellextrakt nach ihrer Größe und Ladung voneinander zu trennen: Dafür werden die Proben, die mit einem blauen Farbstoff versetzt sind, in ein Gel aus Polyacrylamid geladen und durch das Anlegen eines elektrischen Feldes aufgetrennt. · Foto: Jens Meyer

Doch wie gelingt es der Krebszelle, die PAPAS-Produktion abzuschalten und somit die rRNA-Synthese anzukurbeln? »Auch dafür haben wir einen Mechanismus gefunden«, erklärt Holger Bierhoff. »Um PAPAS herzustellen, braucht es ein molekulares Signal am Anfang des PAPAS-Gens. Diese Signalstruktur wird von bestimmten Proteinen reguliert, das heißt, diese Proteine können die Struktur abbauen oder blockieren. Wir haben beobachtet, dass die Produktion dieser Proteine in Brustkrebszellen besonders erhöht ist. Je aggressiver der Tumor, desto mehr von ihnen sind vorhanden.«

### Jenaer Forschende entwickeln RNA-Therapie

Für Holger Bierhoff sind die Forschungsergebnisse in doppelter Hinsicht vielversprechend: »Zum einen se-

hen wir, dass PAPAS ein interessanter Marker sein kann, um die Aggressivität eines Brusttumors einzuschätzen. Diese Informationen lassen sich möglicherweise als diagnostisches Hilfsmittel nutzen«, sagt er. »Zum anderen arbeiten wir bereits daran, eine RNA-Therapie für die Krebsbehandlung zu entwickeln. Wir kennen den Mechanismus, wie PAPAS die ribosomale RNA-Synthese reguliert, und wir wissen, welcher Bereich der RNA dafür notwendig ist. Die Idee ist nun, diesen künstlich herzustellen, verpackt in Nanopartikel in die Krebszellen einzubringen und so die Funktion von PAPAS wiederherzustellen. So reduzieren wir die Synthese der rRNA, die der Krebs braucht, um zu wuchern.« Dies sei ein ähnliches Verfahren wie bei den mRNA-Impfstoffen gegen die COVID-19-Erkrankung – nur dass man hier keine Protein-kodierende, sondern eine regulatorische RNA verwendet. ■

Original-Publikation:  
PAPAS promotes differentiation of mammary epithelial cells [...], Cell Reports, 2024; <https://doi.org/10.1016/j.celrep.2023.113644>

**Kontakt**  
Dr. Holger Bierhoff  
Institut für Biochemie und Biophysik  
Zentrum für Molekulare Biomedizin (CMB)  
Hans-Knöll-Straße 2, 07745 Jena

Telefon: +49 36 41 9-49 357  
E-Mail: [holger.bierhoff@uni-jena.de](mailto:holger.bierhoff@uni-jena.de)  
[www.ibb.uni-jena.de](http://www.ibb.uni-jena.de)







## Alter ist auch Ansichtssache

Man ist so alt, wie man sich fühlt, sagt der Volksmund und liegt damit durchaus richtig. Das Alter eines Menschen ist nicht allein eine Frage der verstrichenen Lebenszeit, sondern wird von vielen Faktoren beeinflusst – unter anderem auch davon, welche Vorstellungen sich Menschen vom Alter machen. Wie die verschiedenen biologischen und psychosozialen inneren Uhren »ticken« und sich dabei wechselseitig beeinflussen, untersucht der von der Carl-Zeiss-Stiftung geförderte interdisziplinäre Jenaer Forschungsverbund IMPULS.

TEXT: UTE SCHÖNFELDER

Für die einen ist es das Ende auf Raten, ein steter Verlust an Haaren, Seh- und Muskelkraft, an körperlicher und geistiger Fitness. Für die anderen ist es die verlockende Aussicht auf Freiheit, Autonomie und inneren Frieden. Das Altwerden und das Altsein erlebt jeder Mensch auf seine ganz eigene Weise. Auch wenn niemand dem stetigen Verfallsprozess entkommt, der unweigerlich auf das eigene Ableben zuführt, so gibt es doch große Unterschiede, wie und in welchem Tempo Menschen altern.

»Dabei sagt das chronologische Alter, also die Spanne der bisher verstrichenen Lebenszeit, nur bedingt etwas darüber aus, als wie alt eine Person wahrgenommen wird und wie alt sich diese Person selbst fühlt«, sagt Alternsforscher Prof. Dr. Christoph Englert. Der Biochemiker ist Sprecher des interdisziplinären Forschungskonsortiums IMPULS von Universität Jena,

Leibniz-Institut für Alternsforschung – Fritz-Lipmann-Institut (FLI) und Uniklinikum Jena (siehe Info-Box). »Auch wenn sich auf biologischer Ebene in den Zellen und im Erbgut Alternsprozesse aufspüren lassen, so spiegeln diese biologischen Uhren nicht zuverlässig das Alter der Person wider«, so Englert weiter. Vielmehr zeige sich oftmals eine erstaunliche Diskrepanz zwischen biologischem und chronologischem Alter.

### Altern ist ein gestaltbarer Prozess

»Keine menschliche Altersgruppe ist so heterogen wie die der Alten«, unterstreicht Prof. Dr. Klaus Rothermund. Der Psychologe, der einen Lehrstuhl für Allgemeine Psychologie der Universität Jena innehat, forscht ebenfalls im IMPULS-Team und hat zudem in den zurückliegenden Jahren das

von der VolkswagenStiftung geförderte internationale Längsschnittprojekt »Altern als Zukunft« geleitet. Er macht vor allem Unterschiede in der subjektiven Alterswahrnehmung, aber auch in gesellschaftlichen Altersnormen aus. »Altern ist ein individuell gestaltbarer Prozess und in vielerlei Hinsicht eine sich selbst erfüllende Prophezeiung.« So bestimme das eigene Bild vom Alter ganz entscheidend, in welcher psychischen, vor allem aber auch körperlichen Verfassung eine Person diese Lebensphase erlebe.

Unklar ist, wie beide Aspekte des Alterungsprozesses – die Physiologie und die Psychologie – ineinandergreifen. Bislang haben Forschende das Alter und seine Prozesse in mehr oder weniger getrennten Welten untersucht. Das Team um Christoph Englert und Klaus Rothermund hat jetzt die unterschiedlichen Sichtweisen miteinander verknüpft und ein ganzheitliches Modell

**Bild links: Menschen, die mit positiven Erwartungen auf das Alter blicken, erleben diese Lebensphase in der Regel körperlich und geistig fitter als Altersgenossen, die eine eher negative Erwartungshaltung haben. · Foto: Anna Schroll**

des Alterungsprozesses erstellt, das die Forschenden in der Fachzeitschrift »Gerontology« veröffentlicht haben. Das Neuartige am Modell des Jenaer IMPULS-Teams ist, dass es erstmals einen interdisziplinären Zugang zum menschlichen Altern, seinen Ursachen, Folgen und seinem subjektiven Erleben bietet, indem es sämtliche – biologische, psychologische, lebensstilbezogene und soziokulturelle – Faktoren integriert. »Damit wollen wir uns und anderen Forschenden ermöglichen, empirisch überprüfbare Hypothesen aufzustellen und gezielte Interventionsmaßnahmen zu identifizieren, die die Widerstandsfähigkeit des Einzelnen gegen das Altern erhöhen und seine negativen Folgen abfedern können«, sagt Englert. Langfristig gehe es darum, die durch die individuelle genetische Ausstattung theoretisch mögliche Lebensspanne, auch praktisch und bei guter Gesundheit zu erleben.

### Alterungsprozesse abfedern

»Unser Modell unterscheidet zwischen dem Phänomen des Alterns, dem subjektiven Erleben, den Ursachen und Folgen dieser Prozesse«, erläutert Rothermund. Ein Hauptaugenmerk des Modells liegt auf der Rolle von Puffermechanismen, die die körperliche und psychische Gesundheit beeinflussen und so die Alterungsprozesse regulieren. »Dazu zählen biologische Repara-

### Hintergrund

Das Projekt IMPULS wird seit 2020 im Rahmen des Förderprogramms »Durchbrüche« von der Carl-Zeiss-Stiftung gefördert. IMPULS steht für »Identifizierung und Manipulation der physiologischen und psychologischen Uhren der Lebensspanne«. Zum Projektteam gehören neben Altersforschern auch Expertinnen und Experten aus Biochemie und Epigenetik, Medizin, Neuro- und Ernährungswissenschaft, Pharmazie, Epidemiologie, Bioinformatik, Biostatistik, Psychologie und Sozialwissenschaften.

turmechanismen ebenso wie die persönliche Anpassung an die jeweilige Lebenssituation«, ergänzt Englert. Zu den biologischen Puffermechanismen, die dem Altern entgegenwirken, gehören beispielsweise die Reparatur von DNA-Schäden und die Zellerneuerung, die das Funktionieren von Geweben und Organen gewährleisten. Puffermechanismen, die vom individuellen Verhalten abhängen, sind etwa körperliche Bewegung, gesunde Ernährung, aber auch das Vermeiden von schädlichen Einflüssen wie Rauchen oder sich übermäßiger Sonneneinstrahlung auszusetzen. Zusätzlich können bestimmte soziale Aspekte den Alterungsprozess abpuffern: Menschen, die vielfältige soziale Beziehungen pflegen und aktiv am gesellschaftlichen Leben teilhaben, altern im Schnitt langsamer als Menschen, die das nicht tun. Dass die Effizienz dieser Puffermechanismen individuell und über die Lebensspanne variiert, führt dazu, dass Menschen unterschiedlich schnell altern.

### Umfangreiche Probanden-Studie

Als nächstes wollen die Forschenden ihr Modell in einer IMPULS-Studie anwenden und herausfinden, ob sich das persönliche Altersempfinden direkt auf biologischer Ebene ablesen lässt. Dafür analysieren sie Blut- und Speichelproben von mehreren Hundert Versuchspersonen, die in der

zurückliegenden Studie »Altern als Zukunft« bereits hinsichtlich ihrer Alterswahrnehmung und -einstellung über mehrere Jahre untersucht worden sind. »Interessant wird sein, ob sich zum Beispiel eine positive Einstellung zum Alter epigenetisch in den Zellen der Versuchsperson niederschlägt bzw. epigenetisch jung gebliebene Personen auch psychologisch dem Alter trotzen«, erwartet Rothermund. Mit den Ergebnissen dieser Untersuchung rechnet das Team Anfang 2025. Sicher sind sich Englert und Rothermund aber bereits jetzt darüber, dass gesundes Altern auch eine gesellschaftliche Herausforderung ist. »Insbesondere ältere Menschen profitieren von vielfältigen sozialen Beziehungen und Teilhabe«, betont Klaus Rothermund, der als Mitglied der Sachverständigenkommission auch den aktuellen »Altersbericht der Bundesregierung« mitverfasst. Vielfach sei es heute jedoch so, dass sich alte Menschen, sobald sie aus dem Berufsleben ausscheiden, mehr und mehr an den Rand der Gesellschaft gedrängt fühlen. Das sei nicht nur ein soziales Problem, sondern auch ein gesundheitliches, sagt Christoph Englert. »Das Gefühl, nicht mehr gebraucht zu werden, das sich bei vielen mit dem Eintritt in den Ruhestand einstellt, kann sich erheblich auf die körperliche und psychische Fitness niederschlagen und somit das Altern beschleunigen.«

Original-Publikation:  
Explaining variation in individual aging,  
its sources, and consequences [...]  
Gerontology (2023), 69 (12): 1437–1447  
<https://doi.org/10.1159/000534324>

**Kontakt**  
Projekt IMPULS  
Prof. Dr. Christoph Englert  
Telefon: +49 36 41 65-6042  
E-Mail: [christoph.englert@leibniz-flj.de](mailto:christoph.englert@leibniz-flj.de)

Prof. Dr. Klaus Rothermund  
Telefon: +49 36 41 9-45121  
E-Mail: [klaus.rothermund@uni-jena.de](mailto:klaus.rothermund@uni-jena.de)  
[www.impuls.uni-jena.de/de](http://www.impuls.uni-jena.de/de)



## Hanf hilft heilen

Hanf, wissenschaftlich *Cannabis sativa*, gehört zu den ältesten Heil- und Nutzpflanzen der Menschheit. Seine therapeutischen Wirkungen, etwa bei Schmerzen und Krämpfen, werden bereits seit Jahrtausenden genutzt. Dass in der Pflanze darüber hinaus noch mehr Potenzial zum Heilen steckt, hat jetzt ein internationales Forschungsteam unter Jenaer Leitung aufgeklärt und gezeigt, wie Cannabinoide bei Entzündungen wirken.

TEXT: UTE SCHÖNFELDER

Es ist eine umstrittene Entscheidung, die die Bundesregierung im Sommer 2023 getroffen hat: Erwerb und Besitz von geringen Mengen Cannabis sollen künftig straffrei sein. Nachdem der Bundestag dem Kabinettsentwurf zugestimmt hat, tritt das »Cannabis-Gesetz« zum 1. April 2024 in Kraft. Was für die einen ein längst überfälliger Schritt ist, lässt andere weiter eindringlich vor den Gesundheitsrisiken des Cannabis-Konsums warnen.

Einen anderen Blick auf Cannabis – den auf die traditionelle Heilpflanze – haben Jenaer Forschende jüngst ge-

meinsam mit Kolleginnen und Kollegen aus Italien, Österreich und den USA gelenkt. In seiner im Fachmagazin »Cell Chemical Biology« veröffentlichten Studie hat das Team vom Institut für Pharmazie untersucht, wie bestimmte Inhaltsstoffe aus der Cannabis-Pflanze Entzündungen entgegenwirken.

Aus vorherigen Untersuchungen war bereits bekannt, dass Cannabis nicht nur schmerzlindernd und krampflösend, sondern auch entzündungshemmend wirkt. »Allerdings war der Grund für die entzündungshemmende Wirkung bislang weitgehend unklar«, sagt

Dr. Paul Mike Jordan, der die Studie gemeinsam mit Prof. Dr. Oliver Werz geleitet hat.

### Cannabinoide mit entzündungshemmender Wirkung

Die Forschenden untersuchten, wie verschiedene Cannabinoide, darunter das psychoaktive THC (Tetrahydrocannabinol) und das in bereits heute frei erhältlichen Produkten enthaltene CBD (Cannabidiol), auf menschliche Immunzellen wirken. »Wir konnten



Dr. Paul Mike Jordan (l.) untersucht mit Lukas K. Peltner (r.), wie Cannabinoide im Körper wirken. · Foto: Anna König



Cannabis ist eine traditionelle Heilpflanze, deren Inhaltsstoffe künftig auch bei der Behandlung von Entzündungserkrankungen eine Rolle spielen könnten. Das legen die Ergebnisse des Teams um Dr. Paul Jordan und Prof. Dr. Oliver Werz nahe. · Foto: Marco Körner

feststellen, dass alle acht von uns untersuchten Cannabinoide eine entzündungshemmende Wirkung aufweisen«, sagt Lukas Peltner, Doktorand und Erstautor der Studie. »Es zeigte sich, dass sämtliche untersuchten Substanzen die Bildung von entzündungsfördernden Botenstoffen in den Zellen hemmen und zugleich die Bildung von entzündungsauflösenden Botenstoffen verstärken.«

### CBD legt in Immunzellen einen Schalter um

Insbesondere habe sich das CBD als hochwirksam erwiesen, welches das Team anschließend hinsichtlich seines Wirkmechanismus genauer untersucht hat.

Dabei konnten die Forschenden feststellen, dass CBD das Enzym 15-Lipoxygenase-1 aktiviert, was die Produktion von entzündungsauflösenden Botenstoffen auslöst, die im weiteren

Verlauf die Entzündung abklingen lassen. »Damit legt CBD in den betroffenen Zellen quasi einen Schalter um, der das Entzündungsgeschehen von der fördernden zur hemmenden Seite lenkt«, unterstreicht Dr. Jordan. Diese Ergebnisse in Zellkulturen konnten die Forschenden auch im Tierexperiment an Mäusen bestätigen.

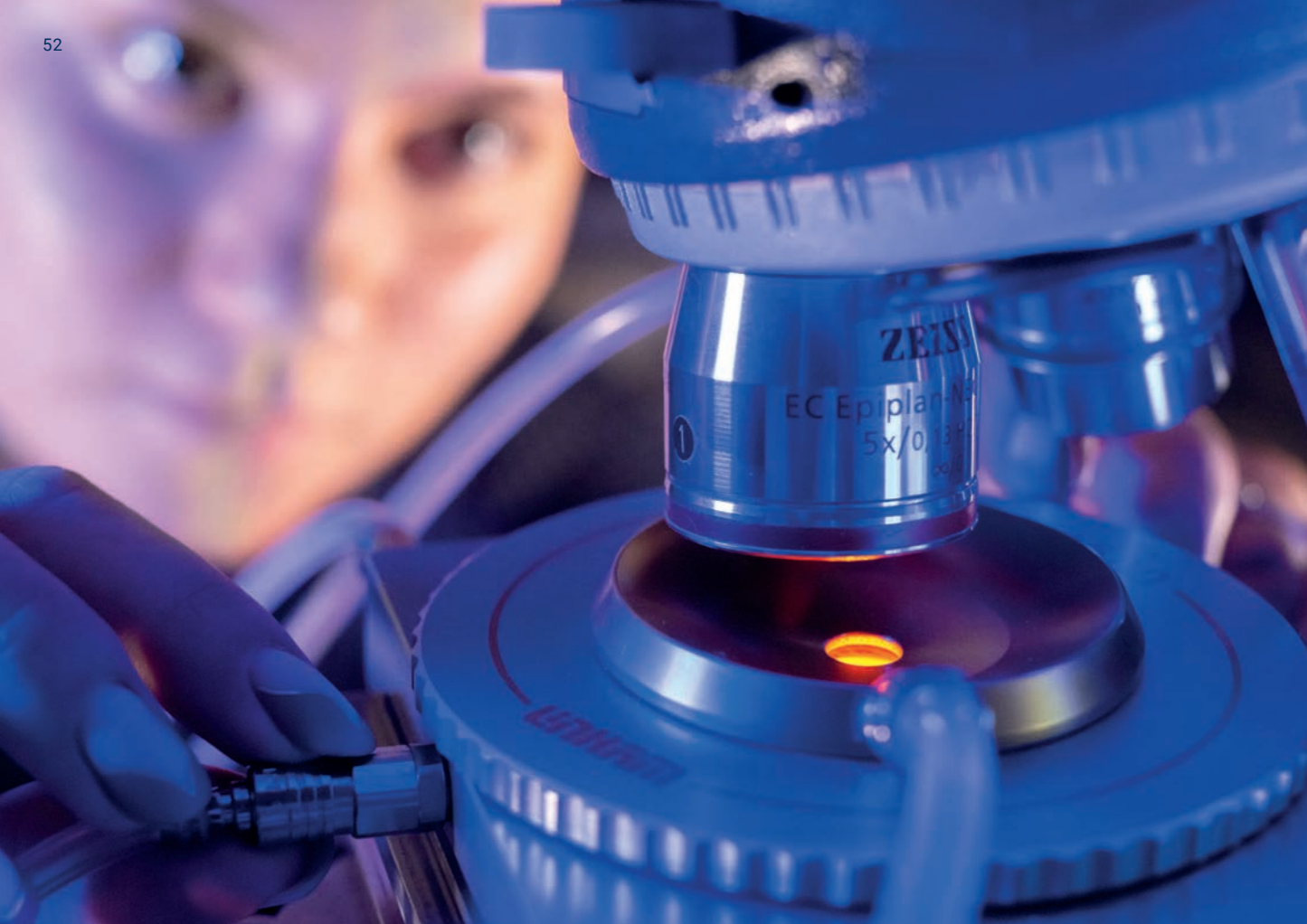
Die gewonnenen Erkenntnisse könnten langfristig in neue therapeutische Strategien zur Behandlung von Entzündungserkrankungen münden, so das Fazit der Forschenden. Dabei sollte vor allem das CBD im Fokus stehen, welches unter den Cannabinoiden am wirksamsten in der Studie war. Bisherige bereits zugelassene Präparate mit Cannabinoiden würden zwar CBD enthalten, »daneben aber auch das psychoaktive THC, was mit einer Vielzahl an Nebenwirkungen einhergehen kann«, stellt Dr. Jordan klar. Therapeutika, die ausschließlich CBD enthalten, würden dieses Problem verringern. ■

Original-Publikation:  
Cannabidiol acts as molecular switch [...],  
Cell Chemical Biology (2023), <https://doi.org/10.1016/j.chembiol.2023.08.001>

**Kontakt**  
Dr. Paul Mike Jordan  
Institut für Pharmazie  
Philosophenweg 14, 07743 Jena

Telefon: +49 36 41 9-49 809  
E-Mail: [paul.jordan@uni-jena.de](mailto:paul.jordan@uni-jena.de)  
[www.pharmazie.uni-jena.de](http://www.pharmazie.uni-jena.de)





Doktorandin Oksana Smirnova beobachtet an einem Mikroskop den Schmelzprozess von Glas. · Foto: Jens Meyer

## Glas trennt Gas – ein Filter für CO<sub>2</sub>

Ließe sich das Treibhausgas Kohlendioxid (CO<sub>2</sub>) aus der Atmosphäre einfach herausfiltern, hätte die Menschheit ein großes Problem weniger. Einen – kleinen – Schritt in diese Richtung hat eine Forschungsgruppe der Universität Jena jetzt unternommen: Das Team vom Otto-Schott-Institut für Materialforschung hat ein Glasmaterial entwickelt, das Gase präzise voneinander trennen kann.

TEXT: MARCO KÖRNER

Um Kohlendioxid-Moleküle aus Gasgemischen abzutrennen, braucht es Materialien mit äußerst feinen Poren. Eine Möglichkeit für ein solches »Molekül-Sieb« haben Forschende der Universität Jena in Kooperation mit der Universität Leipzig und der Universität Wien gefunden: Sie wandelten kristalline Metall-Organische Gerüstverbindungen, sogenannte Zeolithische Imidazolatgerüste, in Glas um.

Dabei gelang es dem Team um Dr. Alexander Knebel vom Otto-Schott-Institut der Universität Jena, die Poren des Materials so zu verkleinern, dass sie für

bestimmte Gasmoleküle undurchlässig werden. Das berichten die Forschenden im Fachmagazin »Nature Materials«.

»Eigentlich galten diese glasartigen Materialien bislang als unporös«, erklärt Knebel. »Das Ausgangsmaterial, also die kristallinen Gerüstverbindungen, besitzen sehr klar definierte Poren und auch eine große innere Oberfläche. Daher werden sie auch als Materialien erforscht, um Gase zu speichern oder zu trennen. Genau diese definierte Struktur geht beim Schmelzen und Komprimieren jedoch verloren. Und das haben wir ausgenutzt.«

»Metall-Organische Gerüstverbindungen bestehen aus Metall-Ionen, die durch starre, organische Moleküle miteinander verbunden sind«, beschreibt der Nachwuchsgruppenleiter das Material.

### Komprimierte Metall-Organische Gerüste

»In den Zwischenräumen dieser dreidimensionalen, regelmäßigen Gitter können sich Gasmoleküle leicht bewegen. Während der Glas-Prozessierung ha-

ben wir das Material komprimiert. Vereinfacht gesagt, konnten wir die Poren auf die gewünschte Größe zusammen-drücken«, veranschaulicht er.

Auch wenn die Gesamtstruktur des Kristalls beim Schmelzen verschwindet – Teile des Kristalls bleiben in ihrer Struktur erhalten. »Fachlich gesprochen heißt das: Beim Übergang vom Kristall zum Glas geht die Fern-Ordnung des Materials verloren, aber die Nah-Ordnung bleibt erhalten«, erläutert Knebel.

Oksana Smirnova, Doktorandin in Knebels Team und Erstantorin der vorgelegten Arbeit, ergänzt: »Wenn wir nun dieses Material schmelzen und komprimieren, verändern sich auch die

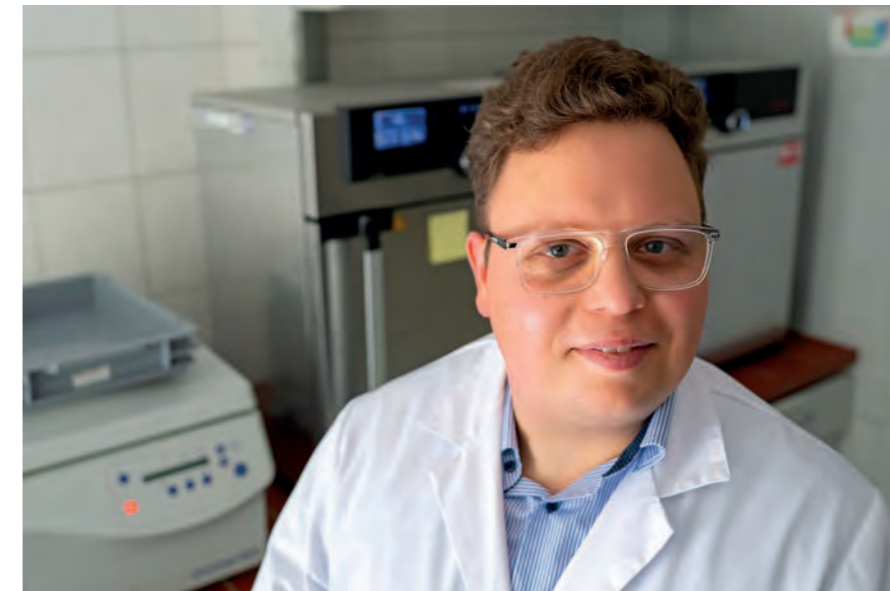
porösen Zwischenräume.« So entstehen Kanäle mit Verengungen – oder sogar auch Sackgassen – und in der Folge passen manche Gase schlicht einfach nicht mehr hindurch.

### Porengröße ist tausendfach geringer als ein menschliches Haar dick

Auf diese Weise erzielten die Forschenden in dem Material Porendurchmesser von 0,27 bis 0,32 Nanometern, und zwar mit einer Genauigkeit von einem hundertstel Nanometer. »Zur Veranschaulichung: Das ist etwa zehntausendmal dünner als ein menschliches Haar und hundertmal dünner als eine DNA-Dop-

pelhelix. Mit dieser Porengröße konnten wir beispielsweise Kohlendioxid von Ethan trennen«, erklärt Knebel. »Unser Durchbruch auf dem Gebiet ist wohl die hohe Qualität der Gläser und die präzisen Einstellbarkeit der Porenkanäle«, ordnet Knebel die Arbeit ein. Dass die Gläser dazu noch mehrere Zentimeter groß sind, demonstrierte zudem die Skalierbarkeit der neuen Materialien.

Ein Ziel ihrer Arbeit sei es, so die Forschenden, eine Glas-Membran für Umwelthanwendungen zu entwickeln. Denn: Kohlendioxid aus Gasen abzutrennen, sei zweifelsfrei eine der großen technologischen Herausforderungen der Gegenwart. ■



Dr. Alexander Knebel leitet eine Nachwuchsgruppe am Lehrstuhl für Glaschemie, die neue Hybridgläser zur Gastrennung entwickelt. · Foto: Jens Meyer

Original-Publikation:  
Precise control over gas transporting channels, Nature Materials (2023), <https://doi.org/10.1038/s41563-023-01738-3>

**Kontakt**  
Dr. Alexander Knebel  
Otto-Schott-Institut für Materialforschung  
Fraunhoferstraße 6, 07743 Jena

Telefon: +49 36 41 9-48 505  
E-Mail: [alexander.knebel@uni-jena.de](mailto:alexander.knebel@uni-jena.de)  
[www.osim.uni-jena.de](http://www.osim.uni-jena.de)



## Trügerische Erinnerungen

»Es ging alles viel zu schnell«, heißt es im Krimi oft, wenn Augenzeuginnen oder -zeugen zum Hergang einer Straftat befragt werden. War der Täter groß oder klein, jung oder alt, welche Farbe hatte seine Jacke? Und selbst wenn die Befragten eine detaillierte Täterbeschreibung geben können, ist diese oft fehlerhaft – im Krimi wie in der Realität. Psychologinnen und Psychologen untersuchen, warum sich Menschen so häufig falsch erinnern. Neuartiges 3D-Studienmaterial zur Erforschung von Augenzeugenberichten hat eine Nachwuchswissenschaftlerin von der Universität Jena jetzt erstellt.

TEXT: SEBASTIAN HOLLSTEIN

Aussagen von Augenzeuginnen und -zeugen sind eine der wichtigsten Quellen, um Täterinnen und Täter zu identifizieren – und sie sind eine der fehleranfälligen.

Das »Innocence Project« – eine Organisation, die sich um die Aufklärung von Justizirrtümern in den USA bemüht – gibt beispielsweise an, dass in zwei von drei Fällen, in denen sie die Freilassung falsch Verurteilter erwirken konnten, fehlerhafte Augenzeugenaussagen eine Rolle gespielt haben.

### Warum Augenzeuginnen und -zeugen so oft danebenliegen

Um herauszufinden, warum Augenzeuginnen und -zeugen so häufig danebenliegen, ist weitere Forschung notwendig, für die es umfangreiches Anschauungsmaterial braucht. Die Psychologin Ulrike Kruse von der Universität Jena hat dieses nun erstellt und dafür eine ungewöhnliche Methode gewählt: Sie hat eigene Mini-Krimis gedreht. Über ihre Arbeit berichtete sie gemeinsam mit ihrem Kollegen Prof. Dr. Stefan R. Schweinberger im Fachmagazin PLOS ONE.

»Ich beschäftige mich seit Jahren intensiv mit dem Thema und musste immer wieder feststellen, dass Material für Studien auf diesem Gebiet kaum vorhanden ist, da Abbildungen meist datenrechtlich geschützt sind und nicht so einfach weitergegeben werden können«, sagt Ulrike Kruse. »Deshalb habe ich mich entschlossen, selbst sogenannte Stimuli zu erstellen, sie für eigene Untersuchungen zu verwenden und vor allem Kolleginnen und Kollegen weltweit zur Verfügung zu stellen.« Zu diesem Zweck hat die Psychologin mit der Unterstützung von Laienspielgruppen sechs kurze Filmsequenzen gedreht, in denen kleine Vergehen szenisch nachgestellt sind, beispielsweise ein Taschendiebstahl in einem gut besuchten Park. Um für Studien Virtual-Reality (VR)-Methoden einsetzen zu können und so die Augenzeugensituation noch realistischer zu gestalten, kam hierbei auch 3D-Technik zum Einsatz.

Im nächsten Schritt suchte die Jenaer Forscherin 16 Personen, die den Tätern im Film ähnlich sehen, um sie für simulierte Gegenüberstellungen zu fotografieren und ebenfalls Porträts in 3D zu erfassen. »Ich habe Flyer erstellt, über

Social Media recherchiert und Leute persönlich angesprochen. Insgesamt hat diese Phase die meiste Zeit in Anspruch genommen«, sagt Ulrike Kruse, die für das Projekt insgesamt rund ein Jahr aufgewendet hat.

### Gegenüberstellung mit Tatverdächtigen in der virtuellen Realität

Der Aufbau der Fotodatenbank dauerte auch deshalb so lange, da die Psychologin objektiv überprüfen ließ, ob sich die Männer tatsächlich zum Verwechseln ähnlich sahen. Dafür schauten sich mehrere Personen die Filme an und lieferten danach eine schriftliche Täterbeschreibung ab. In einer Online-Befragung identifizierten dann 130 sogenannte Scheinzeuginnen und -zeugen durch Ansicht der Fotos denjenigen, der auf die Merkmale passte. »Bei einem solchen sogenannten Fairness-Test werden im besten Fall alle Personen in dieser virtuellen Gegenüberstellung einige Male ausgewählt, weil alle auf die Beschreibung passen müssten. In diesem Fall hat das sehr gut geklappt«, erzählt Ulrike Kruse. Die Jenaer Psychologin verwendete



Ulrike Kruse mit einer Probandin im Versuchslabor. Die Psychologin hat Filmsequenzen inszeniert, anhand derer Augenzeuginnen und -zeugen per VR-Brille Tatverdächtige identifizieren. · Foto: Anne Günther

das Material schließlich zunächst für die eigene Forschung. Im Rahmen ihrer Promotion geht sie beispielsweise der Frage nach, ob Menschen, die sich generell gut Gesichter merken können, auch gute Augenzeuginnen und -zeugen sind. »Wenn dem so ist, könnte man – vereinfacht gesagt – Zeuginnen und Zeugen vor Gericht einem allgemeinen Test zu ihren Fähigkeiten in diesem Bereich unterziehen und so ihre Glaubwürdigkeit besser einschätzen«, erklärt sie. Abschließende Ergebnisse dazu stehen aber noch aus. Mit dem von ihr erstellten Anschauungsmaterial bewegt sich die Jenaer

Forscherin auf ganz neuen Pfaden, denn bisher gibt es kaum Studien, in denen sich die Probandinnen und Probanden für ihre Rolle als Augenzeuginnen oder -zeugen per VR-Brille in die virtuelle Realität begeben haben.

»Bisher hat sich herausgestellt, dass es sehr schwierig ist, seine Aufmerksamkeit aufrechtzuerhalten, wenn man voll in die Situation eintaucht«, berichtet Ulrike Kruse. »In einem Experiment beispielsweise zeigte weniger als ein Fünftel von 68 Versuchspersonen eine korrekte Erkennungsleistung.« Weitere Forschung in diesem Bereich sei deshalb dringend notwendig. ■

Original-Publikation:  
The Jena Eyewitness Research Stimuli (JERS) [...]. PLOS ONE (2023), <https://journals.plos.org/plosone/article?id=10.1371/journal.pone.0295033>

**Kontakt**  
Prof. Dr. Stefan R. Schweinberger  
Institut für Psychologie  
Am Steiger 3, 07743 Jena

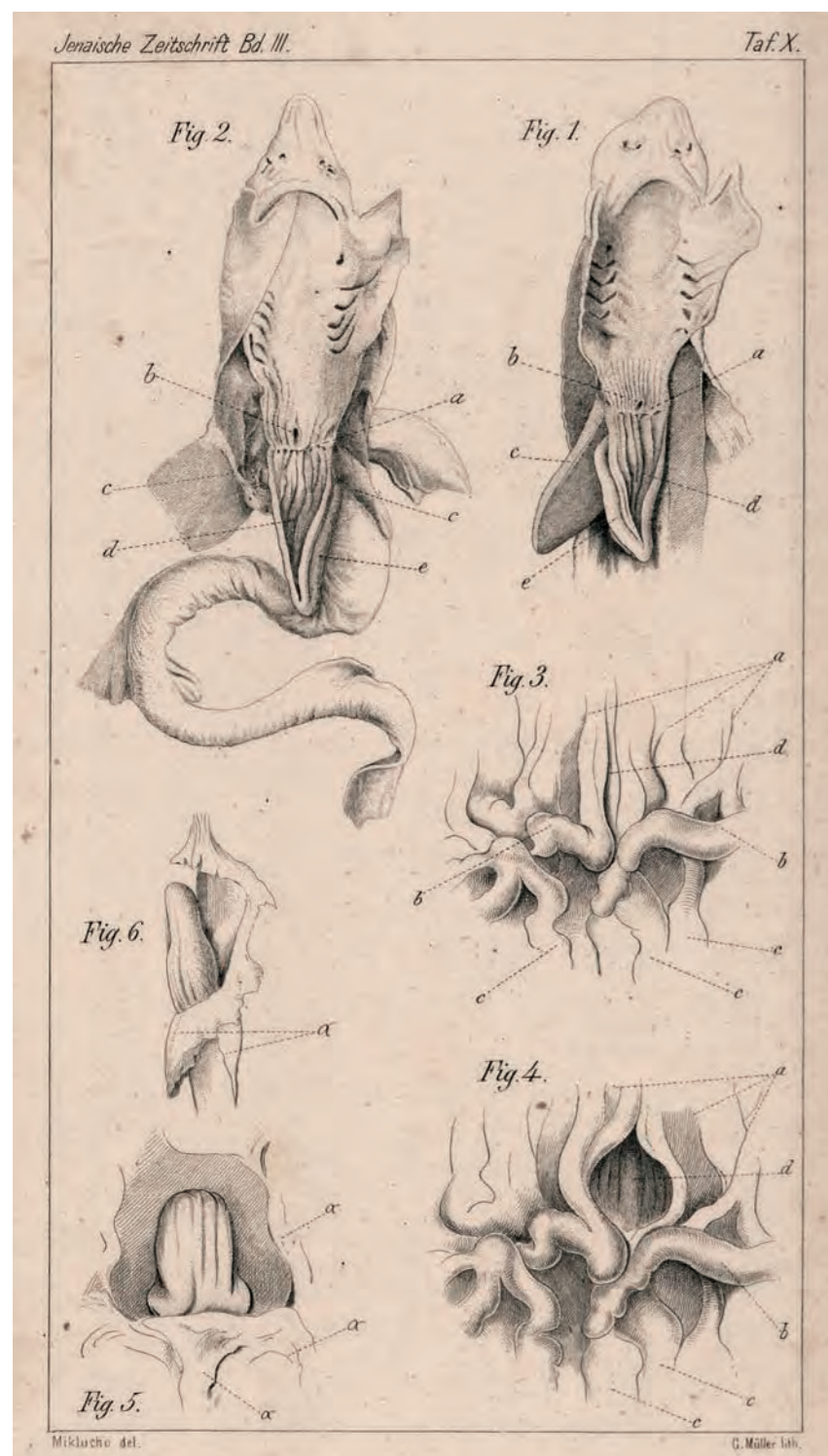
Telefon: +49 36 41 9-45 181  
E-Mail: [stefan.schweinberger@uni-jena.de](mailto:stefan.schweinberger@uni-jena.de)  
[www.fsv.uni-jena.de/psychologie](http://www.fsv.uni-jena.de/psychologie)



# Schwimmblaste oder Lunge?

Ein wiederentdeckter Briefwechsel zwischen Charles Darwin und Ernst Haeckel aus dem Jahr 1868 gibt neue Impulse für die Entwicklungsforschung der frühen Wirbeltiere. Dabei spielen die Aufzeichnungen von Haeckels Assistenten Nikolai Miklucho-Maclay eine zentrale Rolle.

TEXT: SEBASTIAN HOLLSTEIN



Zeichnungen eines seziierten Hais von Miklucho-Maclay.

Abbildung: »Jenaische Zeitschrift für Medicin und Naturwissenschaft«

Haben Haie eine Schwimmblaste, die ihnen wie den meisten anderen Fischen dabei hilft, im Wasser zu schweben? Diese Frage, die heutige Biologen mit einem klaren »Nein« beantworten können, sorgte vor rund 150 Jahren noch für hitzige Diskussionen. Wie bereichernd diese auch heute noch sein können, das zeigen Forschende der Universität Jena und des Senckenberg Centre for Human Evolution and Palaeoenvironment (SHEP) an der Eberhard Karls Universität Tübingen. Sie haben einen Briefwechsel zwischen den beiden Pionieren der Evolutionsforschung Charles Darwin und Ernst Haeckel aus dem Jahr 1868 entdeckt, in dem diese ausführlich über ein mögliches Schwimmblasten-Rudiment bei Haien diskutieren. Durch den schriftlichen Austausch der beiden Vordenker lässt sich die damalige Evolutionsforschung hautnah miterleben und sie inspiriert dazu, den Standpunkt in der heutigen Wissenschaft kritisch zu hinterfragen. Die Hauptrolle in diesem Austausch spielt aber ein weniger prominenter, jüngerer Kollege.

## Haeckel begeistert – Darwin skeptisch

Ausschlaggebend für ihre Diskussion ist die Forschung von Haeckels damaligem Assistenten Nikolai Nikolajewitsch Miklucho-Maclay. Der russisch-stämmige Wissenschaftler, der später vor allem als Ethnologe Berühmtheit erlangte, begleitete seinen Lehrer im Herbst 1866 auf eine Forschungsreise auf die Kanarischen Inseln. Dort untersuchte er unter anderem die Gehirne von Haien und entdeckte dabei eher zufällig hinter den Kiemenöffnungen, oben im Übergang zum Darmbereich der Tiere, eine Ausstülpung. Dieses Gebilde interpretierte Miklucho-Maclay als Rudiment einer Schwimmblaste, die bei den Vorfahren

aller Wirbeltiere vorhanden gewesen sein musste. Haeckel war begeistert von dieser Entdeckung, da sie seine These unterstützte: Er ging davon aus, dass Haie ursprüngliche Wirbeltiere seien, aus denen die Knochenfische, die Lungenfische und später die Landwirbeltiere hervorgegangen wären. Somit wäre die Schwimmblaste evolutionär vor der Lunge entstanden.

Die Entdeckung teilte er in einem Brief seinem von ihm verehrten Kollegen Charles Darwin mit, der am 6. Februar 1868 allerdings eher skeptisch antwortete: »Ich verstehe nicht ganz, was Sie mir über seine Entdeckung der Schwimmblaste erzählen [...]«. Da der Brite in väterlichem Ton »Mikluska« statt »Miklucho« schrieb, blieb der Wissenschaftsgeschichte die Verbindung zu Haeckels Assistenten lange verborgen. Darwin hatte ein anderes Bild der Wirbeltier-Verwandtschaft im Kopf, was zur Verwirrung beitrug: Er ging davon aus, dass die Lungenfische ursprünglich seien und sich alle Wirbeltiere – auch die Knorpelfische, zu denen die Haie gehören – daraus entwickelt hätten. Für Darwin war die Lunge das ursprüngliche »Gas-Organ«.

Haeckel sollte aber mit seinem Stammbaumentwurf weitestgehend recht behalten, obwohl die Haie seit dem Ursprung aller Wirbeltiere natürlich auch eigenen Veränderungen ausgesetzt waren und heute nicht völlig den ursprünglichen Zustand repräsentieren.

Aber es gab noch einen anderen Streitpunkt: Die von Miklucho-Maclay entdeckte Ausstülpung hielt Darwin nicht für eine rudimentäre Schwimm-

blaste, sondern für eine undifferenzierte Struktur, aus der sich evolutionär einmal eine solche ausbilden könnte. Heute sind sich die Forschenden weitgehend einig, dass Darwin mit dieser Einschätzung recht hatte.

»Es kommt selten vor, dass zwei Geistesgrößen einer Wissenschaft sich in ihrer Korrespondenz den Forschungsergebnissen eines bettelarmen und unbekanntem Studenten widmen«, sagt Prof. Dr. Uwe Hoßfeld von der Universität Jena, der seit einigen Jahren gemeinsam mit seinem Kollegen Dr. Georgy Levit das Wirken Miklucho-Maclays erforscht. Die gefundene Textstelle ist für ihn einmal mehr ein Beleg dafür, welches wissenschaftliche Vermächtnis der junge Russe hinterlassen hat und welchen Einfluss er in wenigen Forschungsjahren – er starb im Alter von 41 Jahren – auf die Geschichte der Zoologie ausgeübt hat, nicht nur an der Universität Jena.

## Lunge oder Schwimmblaste – das ist hier die Frage

Doch was genau hatte Haeckels Assistent da entdeckt? Um das darzustellen, hat der Tübinger Evolutionsbiologe Dr. Ingmar Werneburg Querschnittabbildungen von Hai-Embryonen analysiert und die Erkenntnisse aus 100 Jahren Forschung, die nach dem Briefwechsel einsetzte, bestätigen können: »Haie und andere Fische atmen durch Kiemen, die im Inneren mit Kiemensäcken verbunden sind. Fünf Kiemenöffnungen auf jeder Seite sind heute bei Haien üblich, ihre Vorfahren hatten

möglicherweise mehr, weshalb die heutigen Hai-Embryonen noch einige undifferenzierte Kiemensäcke als Anlagen aufweisen. Sie sind nur als kleine Fortsätze zu sehen, die sich nicht zu Kiemen umbilden, sondern nur nach verschiedenen Seiten hin aussacken«, sagt der Zoologe. »Ein solches Gebilde hat Miklucho-Maclay auch noch in ausgewachsenen Haien gefunden.«

In der Evolution haben sich aus den embryonalen Fortsätzen Lungen oder Schwimmblasten entwickelt, fassen die Forscher zusammen. Und die Beschäftigung mit dem über 150 Jahre alten Briefwechsel brachte sie auch zu neuen Überlegungen, warum sich nur eines der beiden Organe jeweils ausbildete und es nicht etwa Tiere gibt, die sowohl Schwimmblaste als auch Lungen haben. Eventuell hatte das mit dem verfügbaren Platz in der Körperhöhle zu tun, der wiederum mit den Lebensbedingungen der Tiere verbunden ist. »Fische beispielsweise, die in offenen Gewässern schwimmen, sind im Querschnitt eher vertikal ausgerichtet, was im oberen Bereich ihres Rumpfes mehr Platz lässt, in dem sich eine unpaare Schwimmblaste, die vorrangig eine hydrostatische Funktion übernimmt, ausdehnen kann«, sagt Ingmar Werneburg. »Fische dagegen, die häufiger am steinigen oder bewachsenen Grund von flachen Gewässern leben, bilden eher eine zweiflügelige Lunge aus. Die Flossen sind mehr in die Breite angelegt und schaffen so im Inneren Platz für die Ausbildung der seitlichen Atmungsorgane aus zwei der unteren embryonalen Ausstülpungen.«

Original-Publikation:  
Darwin, Haeckel, and the »Mikluskan gas organ theory«, *Developmental Dynamics* (2023), DOI: 10.1002/dvdy.661

Kontakt  
apl. Prof. Dr. Uwe Hoßfeld  
Arbeitsgruppe Biologiedidaktik  
Am Steiger 3, 07743 Jena

Telefon: +49 36 41 9-49 491  
E-Mail: uwe.hossfeld@uni-jena.de  
www.biodidaktik.uni-jena.de



## »Erdbeben« in lebendigen Zellen

### Carl-Zeiss-Stiftung fördert innovatives Projekt zur 3D-Analyse des Zellinneren mit 750 000 Euro

Im Rahmen des »CZS Wildcard«-Programms fördert die Carl-Zeiss-Stiftung das Projekt »Geowissenschaftlich inspirierte, molekulspezifische 3D-Tiefenanalyse mit Nanometer-Auflösung« eines Teams um Prof. Dr. Volker Deckert (Foto) vom Institut für Physikalische Chemie.

Ziel des zu Jahresbeginn 2024 gestarteten Vorhabens ist es, seismische Verfahren auf winzige Strukturen in lebenden Zellen anzuwenden und so zerstörungsfreie Einblicke in deren Inneres zu gewinnen. Mit Hilfe von Infrarotlichtpulsen werden dafür in den Zellen Nano-»Beben« ausgelöst, die sich in Form von Wellen bis an deren Oberfläche ausbreiten und – so die Idee – dort aufgezeichnet werden. Während der zweijährigen Projektlaufzeit will das Team zunächst Referenzmethoden entwickeln. sl

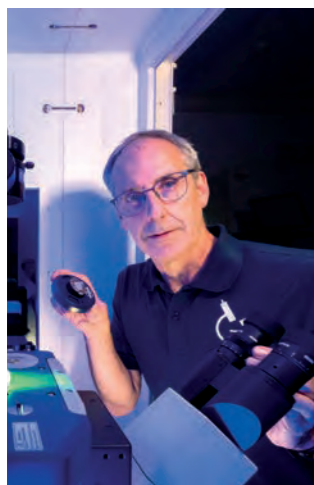


FOTO: JENS MEYER

## Tool bestimmt Voreingenommenheit

### Bundesministerium für Bildung und Forschung fördert kommunikationswissenschaftliches Projekt

Wie lässt sich politische Voreingenommenheit überwinden, wie sie bei kontroversen Themen wie dem Klimawandel oder der COVID-19-Pandemie in vielen öffentlichen Debatten zutage tritt? Das ergründen Kommunikationswissenschaftlerinnen und -wissenschaftler um Prof. Dr. Tobias Rothmund und Prof. Dr. Christian Thiel in dem vom Bundesministerium für Bildung und Forschung geförderten Projekt »SensipoV – Sensibilisierung für politische Voreingenommenheit im Umgang mit wissenschaftlicher Evidenz als Herausforderung für die Wissenschaftskommunikation«. Der Ansatz der Forschenden ist es, zunächst ein Problembewusstsein dafür zu schaffen und ein Tool zu entwickeln, mit dem jede und jeder seine politische Voreingenommenheit selbst testen und reflektieren kann. sh



FOTO: ANNE GÜNTHER

## Superstarke Magnetfelder

### DFG fördert deutsch-polnisches Kooperationsprojekt zu Neutronensternen

Im Projekt »MERLIN« (The Magnetic Field Dynamics in Neutron Stars), das von der Deutschen Forschungsgemeinschaft (DFG) und dem polnischen Narodowe Centrum Nauki (NCN) mit rund einer halben Million Euro gefördert wird, wollen die Physiker Prof. Dr. Sebastiano Bernuzzi von der Universität Jena und Prof. Dr. Brynmor Haskell von der Universität Warschau die Magnetfeldkonfiguration im Inneren von Neutronensternen entschlüsseln (Bild). Neutronensterne können nach einer Supernova-Explosion entstehen, wenn die Sterne kollabieren. Das Magnetfeld solcher Objekte erreicht dabei eine mehr als hundertmillionenfache Intensität des Erdmagnetfeldes. Erforscht werden soll beispielsweise, ob es eine Gleichgewichtskonfiguration für das Magnetfeld im Inneren solcher Neutronensterne gibt. sl

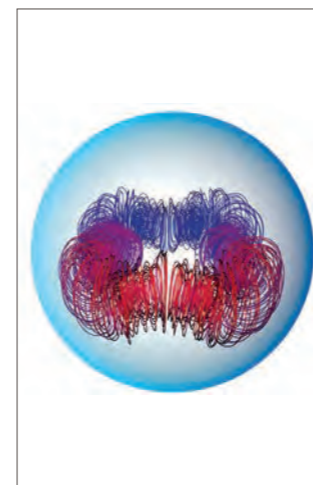


ABBILDUNG: W. COOK

## Illustrative numerische Experimente

### Physikerin erhält Förderung für verbesserte digitale Lehre in den MINT-Fächern

Die Physikerin PD Dr. Christin David (Foto) wird im Rahmen des Programms »Fellowships für Innovationen in der digitalen Hochschullehre« gefördert. Das Stipendium wird vom Thüringer Wissenschaftsministerium gemeinsam mit dem Stifterverband vergeben. Christin David entwickelt in diesem Programm illustrative numerische Experimente für Studienanfänger in den MINT-Fächern, insbesondere



FOTO: JENS MEYER

Lehramts-Studierende. »Unser Ziel ist es, neue Lehrmethoden zu entwickeln und generell neue Impulse in der Lehre zu setzen«, sagt Christin David. Dabei entstehen virtuelle Versuchsaufbauten, die reale Phänomene abbilden. Die Studierenden sollen daraus Formeln mit veränderlichen Parametern ableiten und lernen, aktiv Programme zu entwickeln, die solche Formeln in einen Computercode übersetzen. sl



FOTO: ANNE GÜNTHER

## »DeKarbon«

### Freistaat Thüringen fördert Projekt mit rund 980 000 Euro

Ein Team unter der Leitung von Prof. Dr. Martin Oschatz (Foto) arbeitet an neuen Methoden zur Rückgewinnung und Wiederverwertung von Kohlenstoffdioxid (CO<sub>2</sub>). Damit wollen die Forschenden dazu beitragen,

dass der Ausstoß dieses klimaschädlichen Treibhausgases und seine Konzentration in der Atmosphäre verringert werden. Das Land Thüringen fördert das Projekt bis Ende 2025.

Die Projektgruppe »DeKarbon« entwickelt dafür neue Polymermaterialien, die das Treibhausgas aus Industrie-, Kraftwerksabgasen oder der Luft herausfiltern und binden können. Anschließend soll das Gas chemisch zu nutzbaren Verbindungen umgewandelt werden, beispielsweise zu Methan, Benzin, Diesel oder Kerosin. Nachhaltig wird das Ganze, da bei diesen Prozessen hauptsächlich erneuerbare Energien zum Einsatz kommen. Krauß



FOTO: EVELYN SCHONFELD

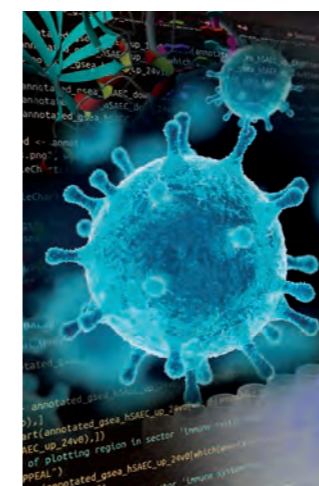
## »Merian-CALAS«

### Neue Förderphase für Regionalzentrum zu Lateinamerika

Kriege, Klimakrise, Artensterben – Krisen sind überall. Doch das globale Phänomen verschärft sich in Lateinamerika, weil die sozialen, ökonomischen und kulturellen Ungleichheiten dort besonders ausgeprägt sind. Diese Krisen und Ansätze

zu ihrer Lösung werden im »Wissenslaboratorium 4« unter dem Fokus »Strategic Identities and Crisis in Latin America« wissenschaftlich untersucht. Akteure sind Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler am Regionalzentrum Jena/Buenos Aires im Rahmen des Verbundprojekts »Maria Sibylla Merian Center for Advanced Latin American Studies in the Humanities and Social Science« (Merian-CALAS), das vom Bundesministerium für Bildung und Forschung mit insgesamt 19 Millionen Euro gefördert wird.

Das Regionalzentrum wird auf Jenaer Seite von der Romanistin Prof. Dr. Claudia Hammerschmidt geleitet. Das Projekt ist 2017 gestartet und läuft bis Ende 2025. sl



COLLAGE: UKJ

## »APPEAL«

### UKJ baut Plattform zur Entwicklung antiviraler Wirkstoffe auf

Gemeinsam mit zwölf Partnern aus sechs Ländern baut das Universitätsklinikum Jena (UKJ) eine europäische Forschungsplattform (APPEAL) auf, die von der EU und Großbritannien mit insgesamt 8,1 Millionen

Euro für fünf Jahre gefördert wird. Als Vorsorge künftiger Pandemien soll mit Förderung der EU in fünf Jahren eine Pipeline zur Entwicklung antiviraler Wirkstoffe entstehen. Auf der Suche danach will sich das vom UKJ koordinierte Team auf die Wirtszellen konzentrieren. Bei hier angreifenden Wirkstoffen besteht ein weit geringeres Risiko der Resistenzentwicklung als bei Wirkstoffen, die die Viren selbst angreifen. Auf der Suche nach geeigneten Zielstrukturen in den Zellen sollen zunächst bereits veröffentlichte Daten von Hochdurchsatz-Gen-Knockout-Studien mit infizierten Zellen gesichtet und mit selbstlernenden Algorithmen analysiert werden. vdG



FOTO: ANNE GÜNTHER

## »Nexus«

### Carl-Zeiss-Stiftung fördert zwei Projekte mit je 1,5 Millionen Euro

Gleich zweimal geht in diesem Jahr die Förderung der Carl-Zeiss-Stiftung für interdisziplinäre Forschungsthemen im Programm »CZS Nexus« an die Universität Jena: Seit Februar 2024 wird Dr. Sina Saravi (l.) gefördert, der optische neuronale Netzwerke entwickelt, um Bilderkennung schneller und ressourcenschonender zu gestalten. Diese Entwicklung kann man sich wie eine Art intelligentes, nanostrukturisiertes Kameraobjektiv vorstellen.

Seit Januar 2024 läuft das Projekt von Dr. Desirée Leisten-schneider (r.), die neuartige Aluminium-Stickstoff-Batterien entwickelt. Diese zeichnen sich nicht nur durch ein geringes Gewicht und eine hohe Energiedichte aus. Es gibt auch bereits etablierte Recyclingprozesse für dieses Material, so dass die Batterien wiederaufladbar sein können. Beide Forschungsgruppen erhalten jeweils 1,5 Millionen Euro für einen Zeitraum von fünf Jahren. MK

Der 36 Meter lange Zweimast-Schoner »Tara« im April 2023 im Hafen von Amsterdam. Die aktuelle Mission »TREC – Traversing European Coastlines« wird Mitte 2024 in Malta enden. · Foto: Margault Demasles, Fondation Tara Océan



## Forschung mit Tiefgang

Um die chemische »Sprache« zu entschlüsseln, mit der sich Mikroorganismen im Wasser verständigen, sammelt die Crew des französischen Forschungsseglers »Tara« noch bis Mitte 2024 Tausende Wasserproben an den Küsten Europas. Für einen Teil der Reise war die Doktorandin Maïa Henry von der Uni Jena mit an Bord.

TEXT: UTE SCHÖNFELDER



Links: Mikroskopische Aufnahme einer Planktongemeinschaft. · Foto: Christian Sardet, Fondation Tara Océan

Unten: Maïa Henry an Bord der »Tara«. · Foto: Margault Demasles, Fondation Tara Océan

### Kleine Wesen mit großer Bedeutung

Mikroplankton, im Wasser driftende Kleinstlebewesen wie Bakterien und Mikroalgen, spielen eine enorme Rolle für den Planeten. Nicht nur, dass sie einen erheblichen Teil des globalen Sauerstoffs bilden. Sie stellen auch das Baumaterial für Riffe und Küsten und bilden als Teil der Nahrungskette die Lebensgrundlage für Meerestiere und damit die Wirtschaftsgrundlage der Fischerei.

Seit April 2023 nimmt ein internationales Forschungsteam eine gigantische Bestandsaufnahme vor: Entlang von mehr als 25 000 Kilometern europäischer Küsten sammeln Forschende Wasserproben an Bord des Schoners »Tara«. Parallel zur Segelroute werden an Land Proben aus Flachgewässern und dem Boden entnommen. Die Expedition »TREC – Traversing European Coastlines« hat das Ziel, sämtliche Lebensformen im Wasser, in den Sedimenten, im Boden und in der Luft entlang der europäischen Küsten zu kartieren, um ein tiefes Verständnis der Wechselwirkungen und biologischen Funktionen zwischen Arten und Ökosystemen zu gewinnen. Außerdem sollen die Auswirkungen chemischer Schadstoffe sowie des Klimawandels auf die biologische Vielfalt im Wasser untersucht werden.

Die Expedition wird vom Europäischen Laboratorium für Molekularbiologie (EMBL) in Zusammenarbeit mit mehr als 70 wissenschaftlichen Einrichtungen koordiniert. Rund 150 Forschende aus rund 30 Ländern sind beteiligt. Von der Universität Jena ist Prof. Dr. Georg Pohnert als Projektleiter im Forschungsteam.



Informationen zur TREC-Mission



### Seekrankheit und Schichtarbeit

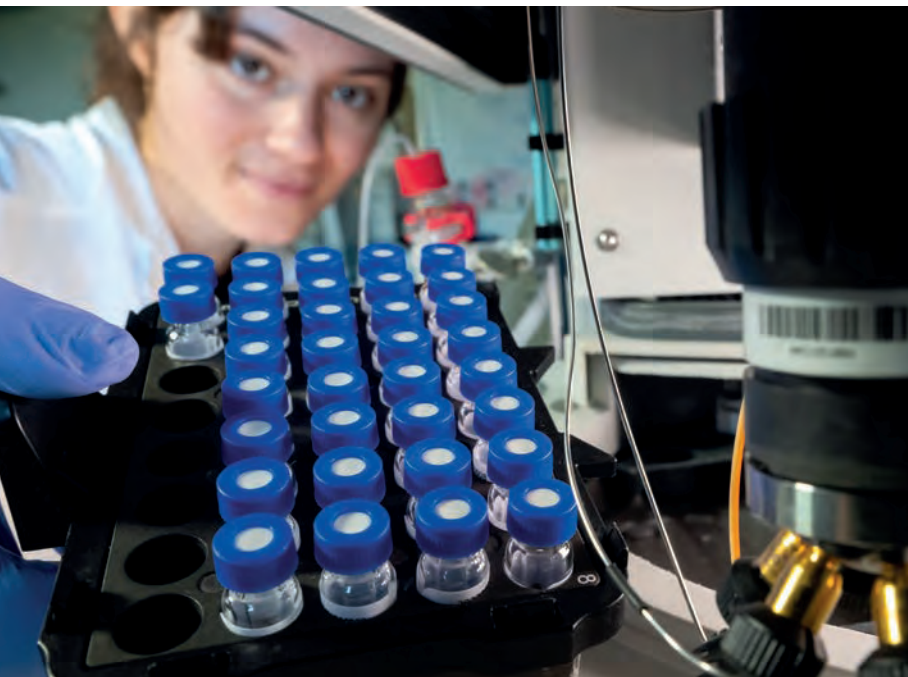
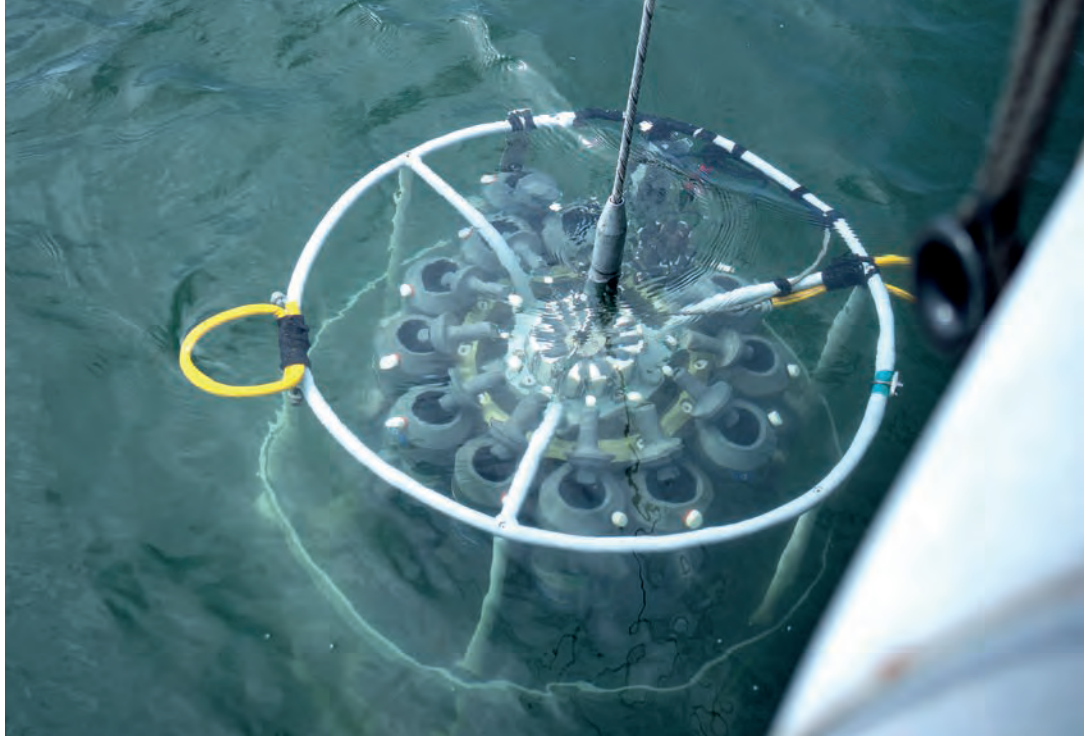
Mit an Bord der »Tara« war auch die Nachwuchswissenschaftlerin Maïa Henry. Die 24-Jährige arbeitet an ihrer Doktorarbeit im Team von Prof. Dr. Georg Pohnert im Exzellenzcluster »Balance of the Microverse« und erforscht den Metabolismus von marinen Kleinstlebewesen, indem sie die chemischen Substanzen analysiert, die die Mikroorganismen unter bestimmten Umweltbedingungen ins Wasser abgeben.

Sie hat während zwei Etappen als Teil der Wissenschaftscrew der »Tara« gearbeitet – von Oostende in Belgien bis Aarhus in Dänemark und von Galway in Irland bis Bilbao in Spanien. Während der insgesamt zwei Monate hieß das für Maïa Henry, wie für alle anderen der 14 Personen an Bord, täglicher Schichtdienst und das nicht nur als Wissenschaftlerin: Zwischen dem Sammeln und Aufbereiten von Wasserproben bringt das Team seine Forschung Schulklassen und der Öffentlichkeit näher und ist auch für die Hausarbeit zuständig – vom Geschirrspülen bis zum Halten der Nachtwache.

Gearbeitet wird an Bord der »Tara« rund um die Uhr, sieben Tage die Woche. Dabei richtet sich der Schichtplan an den Gezeiten aus, manchmal beginnt eine Schicht morgens um 8 Uhr, manchmal schon morgens um 4 Uhr. Seekrankheit, wie sie auch für Maïa Henry, die zuvor keinerlei Segelerfahrung hatte, ein Thema war, ist übrigens keine Entschuldigung. An Bord wird jede Hand gebraucht.

Rechts: Rosette zum Sammeln von Planktonproben in unterschiedlichen Tiefen. · Foto: Margault Demasles, Fondation Tara Océan

Unten: Maïa Henry untersucht die Proben im analytischen Labor. · Foto: Jens Meyer



## Untergetaucht

Die »Rosette« ist ein Tauchgerät, das Wasserproben aus unterschiedlichen Tiefen sammeln kann. Es ist mit verschiedenen Sensoren ausgestattet, die gleichzeitig Parameter wie Salz- und Sauerstoffgehalt, Druck und Temperatur messen.

Neben der »Rosette« verfügt das Segelschiff über unterschiedliche Netze: ein sogenanntes »Manta-Netz«, das an der Oberfläche treibende Objekte wie Plastikmüll einfängt und Planktonnetze, die aus bis zu 700 Metern Tiefe Wasser und kleine Organismen an die Oberfläche holen können. Durch die Wahl der Maschengröße können die Netze unterschiedliche Planktonbestandteile selektieren. Darüber hinaus werden auch Wasserproben von der Oberfläche und Aerosole über dem Meer gesammelt, die ebenfalls Bakterien und Viren enthalten können.

Noch an Bord werden die Wasserproben aufbereitet. Sie werden in mehreren Schritten durch Filterkartuschen gepumpt und dabei die darin befindlichen Organismen und Substanzen aufkonzentriert. Anschließend werden die Proben bei minus 20° Celsius eingefroren und in die beteiligten Labors an Land transportiert.

## Chemische Spurensuche im Labor

Zurück im heimischen Labor werden die Tausenden Proben weiter bearbeitet, die nun extrahiert und konzentriert werden müssen. Anschließend werden sie mittels Flüssigchromatographie-Massenspektrometrie analysiert. Jede Probe durchläuft zunächst eine Säule, in der die einzelnen Bestandteile in Abhängigkeit von ihrer Wechselwirkung mit dem Säulenmaterial getrennt werden. Danach werden die chemischen Verbindungen in das Massenspektrometer geleitet, wo sie ionisiert und abhängig von ihrem Masse-Ladungs-Verhältnis analysiert werden. Die erhaltenen Massenspektren werden mit Datenbanken abgeglichen und ermöglichen so die Identifizierung der chemischen Verbindungen in der ursprünglichen Probe.

Das Team interessiert sich besonders für Stoffwechselprodukte, die von Meeresmikroben produziert werden und sie gegen bestimmte Stressfaktoren resistent machen. Ein Beispiel ist das Molekül »Ektoin«, ein sogenannter Osmolyt, der einige Planktonarten vor Umweltbelastungen wie Temperaturschwankungen oder hohem Salzgehalt im Wasser schützt.

Die Daten über die chemische Zusammensetzung der Planktongemeinschaften werden mit den Erkenntnissen aus den anderen Forschungsgruppen zu einer Meereskarte der Mikroorganismen und ihrer Chemie zusammengesetzt. Sie wird die Grundlage für ein besseres Verständnis mikrobieller Dynamiken in den Ozeanen bilden.



# LICHTGEDANKEN

ONLINE

Das Forschungsmagazin der  
Friedrich-Schiller-Universität Jena

[www.lichtgedanken.uni-jena.de](http://www.lichtgedanken.uni-jena.de)



FRIEDRICH-SCHILLER-  
UNIVERSITÄT  
JENA