



FORSCHUNG FRANKFURT

Das Wissenschaftsmagazin der Goethe-Universität



bewegt

2.2021

BEWEGT KOMMUNIZIEREN

Neues DFG-Schwerpunktprogramm nimmt Gestik und Mimik in den Blick

FILM IN BEWEGUNG

Die Mobilität der Geräte verändert Produktion und Sehweise

UNBEWEGTE BEWEGER

Beschleuniger bringen Teilchen bis nahe an die Lichtgeschwindigkeit

DIE WOLKEN UND DAS KLIMA

Wie Schiffsabgase die Erderwärmung beeinflussen

TÖDLICHE BEWEGUNG

Manipulative Krebszellen überwinden Blut-Hirn-Schranke

KEIN KINDERKRAM

ADHS betrifft auch noch viele Erwachsene



FREUNDE
DER UNIVERSITÄT

«Ich möchte unserer
Bürgergesellschaft das
breite Tätigkeitsfeld der
Universität näherbringen
und den gegenseitigen
Austausch fördern.»

JULIA HERAEUS-RINNERT

STELLVERTRETENDE VORSITZENDE
DER FREUNDESVEREINIGUNG

Foto: Uwe Dettmar

Freunde kann man nie genug haben. Machen Sie mit!

VEREINIGUNG VON FREUNDEN UND FÖRDERERN
DER JOHANN WOLFGANG GOETHE-UNIVERSITÄT
FRANKFURT AM MAIN E.V.

THEODOR-W.-ADORNO-PLATZ 1, 60629 FRANKFURT AM MAIN

www.vff.uni-frankfurt.de

Beitrittserklärung

Ich möchte Mitglied werden und die Freunde und Förderer der Johann Wolfgang Goethe-Universität Frankfurt am Main e.V. unterstützen.

PRIVATE MITGLIEDSCHAFT (Jahresbeitrag)

- 125 EURO ALS FREUND
 250 EURO ALS FÖRDERER
 500 EURO ALS DONATOR
 _____ EURO JÄHRLICHE ZUSATZSPENDE

FIRMENMITGLIEDSCHAFT (Jahresbeitrag)

- 500 EURO ALS FIRMENMITGLIED
 900 EURO ALS FIRMENMITGLIED (FÖRDERND)
 _____ EURO JÄHRLICHE ZUSATZSPENDE

Einwilligung in die Datennutzung zu weiteren Zwecken:

Ich erkläre mich durch meine Unterschrift damit einverstanden, dass meine Daten zu Vereinszwecken gespeichert und verarbeitet werden. Ich stimme ebenfalls zu, dass ich von der Vereinigung von Freunden und Förderern und der Goethe-Universität zu Vereinszwecken postalisch und per E-Mail kontaktiert werde. Rechte: Ich kann jederzeit ohne Angabe von Gründen von meinem Widerspruchsrecht Gebrauch machen und die erteilte Einwilligungserklärung mit Wirkung für die Zukunft abändern oder gänzlich widerrufen. Ich bin jederzeit berechtigt, gegenüber dem Verein um umfangreiche Auskunftserteilung zu den zu meiner Person gespeicherten Daten zu ersuchen.

Einzugsermächtigung

Bitte buchen Sie den Jahresbeitrag von meinem Konto ab.

NAME, VORNAME

E-MAIL

ADRESSE (STRASSE)

ADRESSE (PLZ, ORT)

BANKINSTITUT

IBAN

BIC/SWIFT-CODE

DATUM

UNTERSCHRIFT



AUS DER REDAKTION

Liebe Leserinnen, liebe Leser,

Dynamik, so verrät es das Metzler Lexikon der Philosophie, ist die Lehre von den Kräften der Bewegung. Seit Platon und Aristoteles beschäftigt die Gelehrten, wie Dinge als Folge äußerer Einwirkung ihre Position verändern. In der Renaissance beschreiben Kepler und Galilei die Bewegung der Planeten, und Newton erkennt das universelle Prinzip der Schwerkraft anhand eines fallenden Apfels. Längst ist der Begriff der Dynamik auch in der Alltagssprache angekommen: Als »dynamisch« bezeichnen wir lebhafte Musikstücke ebenso wie agile Persönlichkeiten und Versicherungsverträge mit ansteigenden Prämienbeträgen.

Um Bewegung geht es auch aktuell in vielen Wissenschaftsprojekten an der Goethe-Universität, in unterschiedlichen Disziplinen geht es um Ursachen, Charakter und Auswirkungen von Bewegung. Die Physik von Sternen und Planeten kann heute im Labor untersucht werden, wo in riesigen Anlagen winzige Teilchen auf nahezu Lichtgeschwindigkeit gebracht werden. Hinter der Technik für diese Apparaturen stehen Physiker, die stets aufs Neue exotischste Anforderungen der Teilchenphysiker in Beschleunigungstechnologien umsetzen (S. 21). Wer dann ins Innere der atomaren Struktur von Molekülen schaut, etwa mit einem Reaktionsmikroskop (S. 28), kann beobachten, was unseren Alltagserfahrungen vehement widerspricht: Dinge, die gleichzeitig geschehen, obwohl sie einander eigentlich ausschließen – willkommen in der Quantenwelt!

Für den Laien eher nachvollziehbar ist das Beobachten der Bewegungen von Tieren. Während in den Anfängen der Verhaltensforschung arttypische Bewegungen des einzelnen Tieres im Mittelpunkt standen, die auch mit filmischen Mitteln erforscht wurden (S. 48), steht heute das Tier und

seine Beziehungen zur Umwelt im Zentrum des Forschungsinteresses. Ein Beispiel sind die großen Tierwanderungen in der mongolischen Steppe (S. 7). Für den Naturschutz ist diese Forschung ebenso relevant wie für die Abschätzung der Klimawandelfolgen. Diese stehen auch bei Untersuchungen zu niedrigen Wolken im Fokus, deren Beitrag zur Erderwärmung durch die Abgase der Handelsschiffe beeinflusst wird (S. 12).

Beim Stichwort Bewegung denken die meisten Menschen indes vornehmlich an die Bewegung des eigenen Körpers – den Sport. Der kann integrierend für Migranten wirken, wie eine Studie zu Sportvereinen gezeigt hat (S. 38). Nichts geht mehr beim Sport, wenn Muskelkrämpfe jede Bewegung zur Qual machen – ein Forschungsfeld der Sportmedizin (S. 40). Unter einem Zuviel an Bewegung leiden ADHS-Patienten, wobei sich die ständige Unruhe nicht immer auswächst, sondern auch Erwachsenen noch Probleme bereiten kann (S. 35). Eine tödliche Form der Bewegung machen metastasierende Krebszellen, die sogar die Blut-Hirn-Schranke überwinden können (S. 16).

Menschliche Bewegungen werden an der Goethe-Universität unter verschiedenen Gesichtspunkten erforscht: Wie Gesten Teil unseres Sprechens sind (S. 45), oder wie man Computern beibringen kann, Bewegungen zu erkennen (S. 25). Und die Medienwissenschaft analysiert den Einfluss, den unsere YouTube-, TikTok- und Insta-Videos auf Filmproduktionen haben (S. 54).

Bewegung bewegt also auch die Forschung an der Goethe-Universität, und in diesem Sinne wünschen Ihnen eine bewegende Lektüre

Anke Sauter und Markus Bernards
Redaktion Forschung Frankfurt

INHALT



7

WANDERNDEN GAZELLEN

Wenn sich Mongolische Gazellen an grünen Weideplätzen sammeln, können in der Steppe schon einmal 100 000 Tiere zusammenkommen. Danach verstreuen sie sich in alle Winde. Warum das so ist, erforscht der Tierökologe Thomas Müller.



25

COMPUTER LERNT BEWEGUNGSSEHEN

Mit Selbstlernprogrammen sollen Künstliche Intelligenzen Bewegungen unterscheiden lernen. Dabei trainieren sie mit 100 Millionen YouTube-Videos, auf denen zum Beispiel Kochanleitungen zu sehen sind.



28

UNMÖGLICHES BEOBACHTEN

Mit dem Reaktionsmikroskop COLTRIMS lassen sich bei Molekülen Phänomene aus der Quantenwelt beobachten: Zwei Bewegungen, die eigentlich einander ausschließen – und deren Wellen sich doch überlagern.

BLICKPUNKT

- 4** Physikdidaktik empfiehlt Stroboskopbilder für Schulunterricht

BEWEGUNG MIT FOLGEN

- 7** Tierwanderungen in der »Serengeti des Ostens«
Das eigenartige Wanderverhalten der Mongolischen Gazellen stellt den Naturschutz vor große Herausforderungen
von Markus Bernards
- 12** Fliegender Sonnenschirm über den Ozeanen
Wie Wolken den Klimawandel beeinflussen
von Andreas Lorenz-Meyer
- 16** Wenn Tumorzellen wandern
Wie Metastasen im Gehirn entstehen
von Anja Störko

SCHNELLER, IMMER SCHNELLER

- 21** Die unbewegten Bewegter
Wie kleinste Teilchen fast so schnell werden wie das Licht
von Dirk Eidemüller
- 25** Videoerkennung:
Ist es Kochen oder Winken?
von Markus Bernards
- 28** Schrödingers Katze kitzeln
Wenn ein Molekül gleichzeitig auseinanderfliegt und gebunden bleibt
von Dirk Eidemüller



38

FUSSBALLELF DES FLÜCHTLINGSHEIMS

Zwei Jahre lang haben Forscherinnen und Forscher untersucht, wie die Integration von Migranten über Sportvereine gelingen kann. Ein Ergebnis: Das ehrenamtliche Engagement müsse gezielt unterstützt werden.



40

MAGNESIUM WAR GESTERN

Um Leistungssportler und andere Krampfgeplagte von lästigen Muskelkrämpfen zu befreien, löst der Sportmediziner Michael Behringer erstmalig künstlich welche aus. So will er die Reizschwelle für die schmerzhaften Kontraktionen erhöhen.



48

FILM UND VERHALTEN

Wie ist die natürliche Verhaltensweise von Füchsen? Der Ostberliner Ethologe Günter Tembrock (1918–2011) hat die Tiere in den vier Wänden seines Arbeitszimmers beobachtet. Mithilfe des Mediums Film kam er zu validen Ergebnissen.

DER MENSCH IN BEWEGUNG

- 35** Kein Kinderkram
Wenn der »Zappel-Philipp« erwachsen ist
von Jan Schwenkenbecher
- 38** Was kann der Sport leisten?
Bilanz eines Forschungsprojekts zur Integration von Migranten
von Jan Schwenkenbecher
- 40** Der Kampf gegen den Krampf
Sportmediziner zeigt: Gezieltes Training mit Elektroimpulsen erhöht die Reizschwelle
von Anne Hardy

BEWEGUNG MIT BEDEUTUNG

- 45** Mit Händen Sprache formen
Wie Gestik und Mimik die Bedeutung von Wörtern und Sätzen unterstreichen, ergänzen und modifizieren können
von Anke Sauter
- 48** Wildtierforschung im Arbeitszimmer
Wie der Biologe Günter Tembrock das Medium Film für seine Verhaltensforschung nutzte
von Sophia Gräfe
- 54** Mobil produzieren, mobil konsumieren
Wie die Beweglichkeit der Geräte die Herstellung von Filmen verändert hat
von Laura Laabs

- 58** Nachrichten
- 64** Impressum
Abbildungsnachweis
- 65** Vorschau

BLICKPUNKT

Wie Stroboskopbilder im Physikunterricht eingesetzt werden können, konzipiert der Physikdidaktiker Prof. Thomas Wilhelm. Dazu wird ein Video gemacht und danach werden dessen Einzelbilder per Software zum Stroboskopbild übereinandergelegt. In unser Bild haben wir Thomas Wilhelm nachträglich hineinmontiert – im Original ist er verschwommen, da er sich etwas bewegen musste, um den Wassereimer zu schleudern.

Aus den Eimerpositionen zu verschiedenen Zeiten lassen sich nun Geschwindigkeiten und Beschleunigungen ermitteln.

Der Eimer auf dem Bild enthielt übrigens wirklich Wasser, das nicht ausgelaufen ist.

www.thomas-wilhelm.net

Physik



1
Alte Main-Lohn 20





BEWEGUNG MIT FOLGEN



Tierwanderungen in der »Serengeti des Ostens«

Das eigenartige Wanderverhalten der Mongolischen Gazellen stellt den Naturschutz vor große Herausforderungen

Eine Million Gazellen leben in der Steppe der östlichen Mongolei. Obwohl sie meist in Gruppen auftreten, scheinen die einzelnen Tiere nach chaotischem Muster durch die riesigen Ebenen zu ziehen. Die Gründe dafür erforschen Thomas Müller und sein Team. Im interdisziplinären Forschungsverbund entwickeln sie zudem Konzepte, damit die »Serengeti des Ostens« auch während des sozialen und wirtschaftlichen Wandels in der Mongolei erhalten bleibt.

von Markus Bernards

Es ist diese ungeheure Weite der ostmongolischen Steppe, die Besucher aus anderen Teilen der Welt an dieser Landschaft fasziniert. Schier unendlich erstreckt sich das Gras auf der Hochebene, ohne Baum, ohne Strauch, nur selten formen Hügel das Gelände. Wildtierforscher Thomas Müller erinnert sich gut daran, wie es war, als er 2004 das erste Mal dort ankam: »Es ist, wie wenn man das erste Mal auf dem offenen Meer ist: Eine faszinierende Monotonie, rundum sieht man bis zum Horizont. Und genau wie auf dem Meer ist man auch den Elementen ausgeliefert, dem Wind, der Sonne, dem Regen.«

In der Ferne wechseln die Farben der Steppe vom verdorrten Gelb-Braun über ein sattes Grün, wo nach Regenfällen das Gras sprießt, bis zu einem dunklen Schwarz, wenn eines der häufigen Steppenfeuer den Boden verbrannt hat. Das Klima ist stark kontinental geprägt, im Sommer bis zu 35 Grad, im Winter kann es – bei bis zu minus 40 Grad – eisige Schneestürme geben.

Menschen sind selten in dieser Gegend. Von den drei Millionen Einwohnern der Mongolei leben die Hälfte in der Hauptstadt Ulan Bator, und mit zwei Personen pro Quadratkilometer ist die Mongolei das am dünnsten besiedelte Land der Welt.



Foto: IMAGO/Imaginechina-Tuchong

Ihren Lebensunterhalt bestreiten die Menschen auf dem Land überwiegend als nomadische Hirten. Sie nutzen das omnipräsente Gras für ihre Weidetiere: hauptsächlich Schafe und Ziegen, aber auch Rinder, Pferde und Kamele. Die Tiere bewegen sich frei, die Mongolei gilt als das »Land ohne Zäune«. Thomas Müller war häufig zu Gast in den Jurten der Hirtennomaden und erzählt: »Wenn man morgens aufwacht, aus der Jurte nach draußen geht und sich umguckt, sieht man überhaupt kein Tier. Ein bis zwei Pferde sind an der Jurte angebun-

In der Ostmongolei weiden riesige Gazellenherden das saftige Steppengras ab. Die Wanderungen der Tiere werden zunehmend durch eingezäunte Bahnlinien unterbrochen.

den, die nehmen die Hirten und reiten los, und dann finden sie ihre Tiere wieder. Ich weiß nicht wie, aber es funktioniert.«

Gras ist genügend vorhanden in den Steppen und Wüstenlandschaften der Mongolei, und so leben auch große Herden wilder Huftiere dort: Wildesel, Przewalski-Pferde und am häufigsten die Mongolische Gazelle (*Procapra gutturosa*). Diese Tiere sind ein bis eineinhalb Meter lang, einen guten Meter groß und bis zu 45 Kilogramm schwer. Sie sind schnell, tauchen in Gruppen von 100 bis 1000 Tieren auf und verschwinden wieder, stets auf der Suche nach frischem Gras. Mobilität ist das A und O, denn Regen und Flächenbrände sind unvorhersehbar und können das Nahrungsangebot rasch ändern. Wer mobil ist, kann auch Winterstürmen und dem Feuer ausweichen, was natürlich gleichermaßen für Paarhufer wie auch für die Hirten gilt.

Der Bewegungsökologe Thomas Müller reiste in die Mongolei, um das Wanderverhalten dieser Gazellen zu studieren, über das man lange Zeit wenig wusste. Mit Wanderbewegungen von Tieren hatte er sich schon seit vielen Jahren

beschäftigt und zum Beispiel in Polen einmal Wölfe mit Peilsendern verfolgt – auf dem Fahrrad durch unwegsame Wälder.

Die flache, baumlose ostmongolische Steppe versprach da, durch die Hilfe moderner Technologie, ein viel einfacheres Forschungsterritorium zu sein: Mit Satelliten ließ sich gut beobachten, wo das Gras grün ist und damit Futter für die Tiere bietet, und die Forscher konnten die Tiere einfangen und mit GPS-Sendern versehen. Anfangs waren die Sender batteriebetrieben, lösten sich nach einem Jahr und konnten von den Forschern eingesammelt werden. Mittlerweile laufen sie über Solarzellen und liefern über viele Jahre hinweg Langzeitdaten.

Thomas Müller erklärt: »Bisher ging die Wissenschaft davon aus, dass sich die Tiere vielleicht wie nordamerikanische Karibus oder die Gnus in Ostafrika verhalten.« Karibus schließen sich zu großen Gruppen zusammen, um zwischen Winter- und Sommerweiden zu wechseln. Gnus ziehen in riesigen Herden in einer Art Rundbewegung durch die Serengeti. In der Mongolei aber ist alles anders. »Es war völlig chaotisch: Die Gazellen, die wir alle an derselben

ZUR PERSON



Foto Doppelseite: Thomas Müller

Thomas Müller, Jahrgang 1974, studierte Biologie in Marburg und promovierte an der University of Maryland in den USA zu den Wanderbewegungen ostmongolischer Gazellen und deren Veränderungen durch menschliche Eingriffe in die Landschaft. Anschließend arbeitete er in Frankfurt und Maryland als Postdoc und als Wissenschaftlicher Mitarbeiter am Smithsonian Conservation Biology Institute. 2013 kehrte er mit einer Robert Bosch Juniorprofessur nach Frankfurt zurück und ist seit 2018 Professor für Bewegungsökologie und Biodiversitätserhaltung am Senckenberg Biodiversität und Klima Forschungszentrum sowie an der Goethe-Universität.

thomas.mueller@senckenberg.de

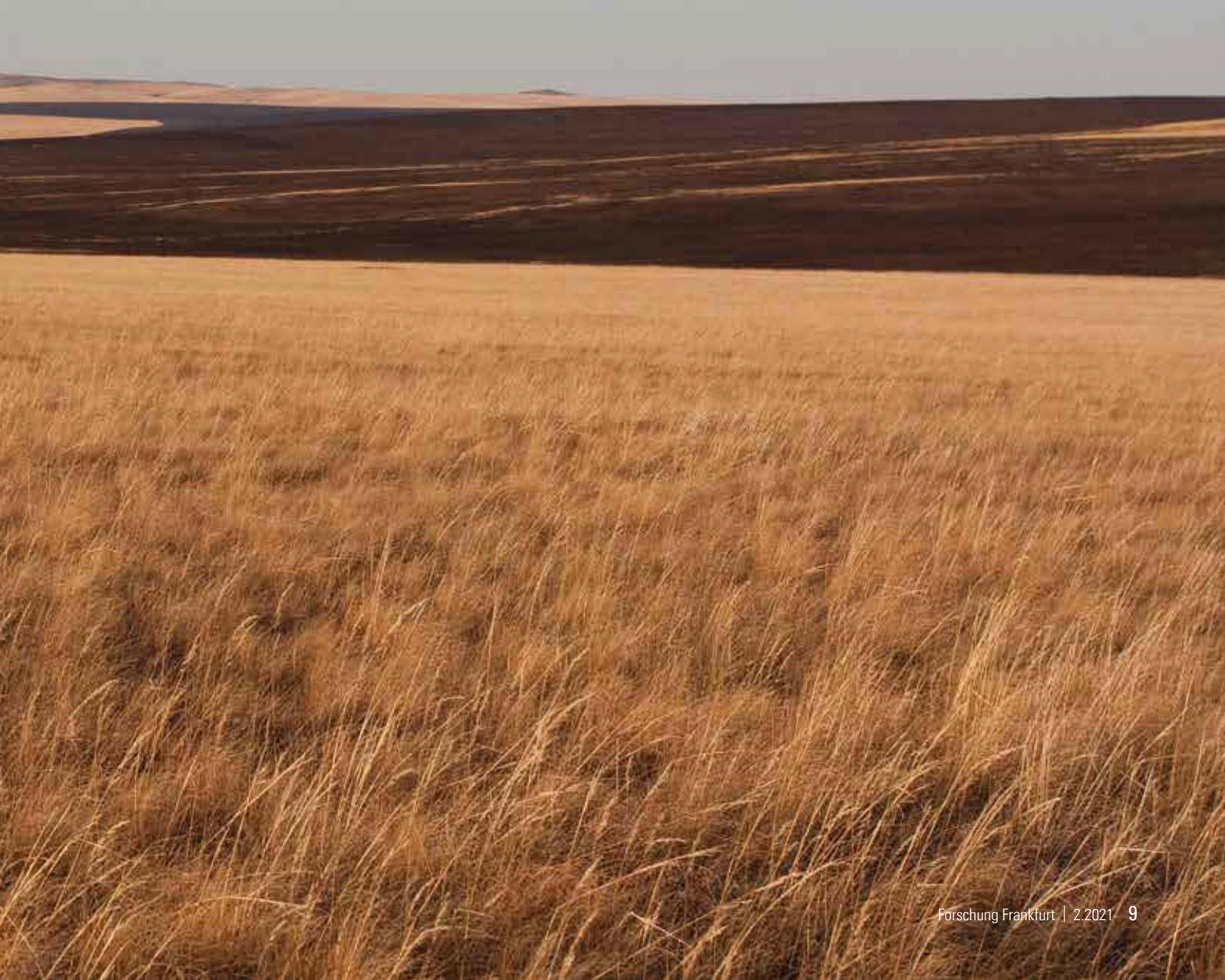
Stelle gefangen und mit Sendern versehen hatten, fanden sich kurz darauf verstreut über ein riesiges Gebiet. Als würde man im Frankfurter Stadtwald Rehe mit Sendern versehen und einige Monate später wäre eines in München, eines in Berlin und eines in Paris. Auf einer Grafik sehen die Wanderrouten dieser Mongolischen Gazellen wie ein Spaghettimuster aus. « Da die Gazellen meist in großen Gruppen auftreten, setzen sich diese Gruppen offenbar immer wieder neu zusammen, Tiere lösen sich heraus und finden sich zu neuen Gruppen zusammen, »Fission-Fusion-Dynamics« nennt Müller das. »Für die Wissenschaft ist das natürlich ungeheuer spannend: Warum machen die das überhaupt? Denn alle Gazellen sind ja den gleichen Umweltbedingungen ausgesetzt, wandern aber in verschiedene Richtungen und stecken viel Energie in diese Wanderungen.«

Bisher haben Müller, sein Team und seine Kooperationspartner das Rätsel dieser Wanderungen, die sie »nomadisch« nennen, noch nicht gelöst. Aber sie haben anhand der vielen bisher gesammelten Daten Hypothesen entwickelt: »Wir glauben, dass es sich um eine

Mischung zwischen Navigation und Suchbewegung handelt«, erklärt Müller. »Wenn wir Menschen zum Beispiel morgens zur Arbeit gehen, müssen wir nicht groß überlegen. Wir finden unseren Weg nahezu automatisch und reagieren höchstens auf lokale Ereignisse wie zum Beispiel eine rote Ampel, an der wir anhalten. Wenn wir unseren Schlüssel verloren haben, ist nicht so genau vorhersagbar, ob wir erst ins Schlafzimmer gehen oder mit der Küche anfangen. In der ostmongolischen Steppe sind Brände, Schneestürme und Regenfälle nicht vorhersagbar und daher befinden sich die Gazellen immer auf einer ungerichteten Suche. Das ist sicher ein Element, das erklärt, warum die Tiere alle irgendwo anders landen. Andererseits wissen wir auch, dass sie wieder zu Plätzen, wo sie zum Teil vor Jahren einmal waren, zurückkommen können. Also haben sie offenbar auch eine Vorstellung davon, wo in der Landschaft sie sich befinden.«

Doch die ostmongolische Steppe, das weltweit größte intakte Grasland der gemäßigten Zone, verändert sich. Der Klimawandel ist hier deutlicher zu spüren als anderswo, und mehr

Immer wieder brennt das trockene Gras in der ostmongolischen Steppe. Wildtiere wie auch die Hirten mit ihren Weidetieren müssen daher flexibel sein auf der Suche nach Weidegründen.



www.morestep.org

Das mongolisch-deutsche Projekt »MORE STEP – Mobilität im Wandel: Nachhaltige Entwicklung des mongolischen Steppenökosystems« wird vom Bundesforschungsministerium gefördert.

Der Autor

Markus Bernards
bernards@em.uni-frankfurt.de

(siehe Seite 27)

und mehr werden die reichen Bodenschätze der Mongolei – in der Steppe ist es unter anderem Erdöl – erschlossen. Pisten werden zu Straßen asphaltiert, neue Eisenbahnlinien werden geplant und gebaut. Da diese Eisenbahnlinien zum Schutz der Weidetiere eingezäunt werden, bilden sie auch für wandernde Wildtiere wie die Gazelle eine Barriere. So hat bereits der Bau der Transmongolischen Eisenbahn, die Ulan Bator mit Beijing verbindet, Wanderungen von Wildeseln und Gazellen unterbrochen.

Werden die riesigen Gazellenherden bald verschwunden sein? Steppe und Gazellen sind in der Mongolei wichtig. Für die Mongolinnen und Mongolen dort ist die Steppe nicht nur Weideland, und die Gazellen sind nicht nur gelegentliche Jagdbeute. Sogar für die Menschen, die das nomadische Hirtenleben hinter sich gelassen haben und in den Städten wohnen, ist das weite Land mit seinen Tieren ein kultureller Wert, der Identität stiftet. Daher wurden mehrere bis zu 5000 Quadratkilometer große Schutzgebiete geschaffen, um die »Seren-

geti des Ostens« zu bewahren. Das Problem: Die Gebietsansprüche der Gazellen sind viel größer. »Wir haben eine Gazelle über viereinhalb Jahre beobachtet, die in dieser Zeit 17 000 Kilometer gelaufen ist. Eine einzelne Gazelle kann im Laufe ihres Lebens ein Gebiet der Größe von Ungarn nutzen«, meint Müller. »Das lässt sich durch kein Schutzgebiet abbilden.«

Deshalb haben Thomas Müller und sein Team zusammen mit Partnern ein mongolisch-deutsches Forschungsprojekt zur nachhaltigen Entwicklung des Steppenökosystems gestartet. Bei »MORE STEP« sind neben den Bewegungsökologen vom Senckenberg Biodiversität und Klima Forschungszentrum und der Goethe-Universität auch das Frankfurter Institut für Sozialökologische Forschung ISOE beteiligt und viele weitere deutsche und mongolische Partner, darunter die National University of Mongolia, der Hustai National Park und die Wildlife Conservation Society Mongolia. Ziel ist es herauszufinden, wie sich die Steppe nachhaltig nutzen lässt, ohne dass das Ökosystem kippt, also Wildtiere

AUF DEN PUNKT GEBRACHT

- Riesige Gazellenherden bevölkern die Steppen der östlichen Mongolei, eine der letzten intakten Graslandschaften der gemäßigten Zone.
- Die Tiere durchwandern riesige Gebiete und nutzen im Laufe ihres Lebens bis zu 90 000 Quadratkilometer, was der Fläche Ungarns entspricht. Dabei formieren sich die Tierherden immer wieder neu.
- Mongolische und deutsche Partner entwickeln Konzepte zur nachhaltigen Entwicklung der Steppe, da neue, eingezäunte Eisenbahnstrecken und Erdölförderung die Bewegungsmöglichkeiten der Tiere stark einzuschränken beginnen.

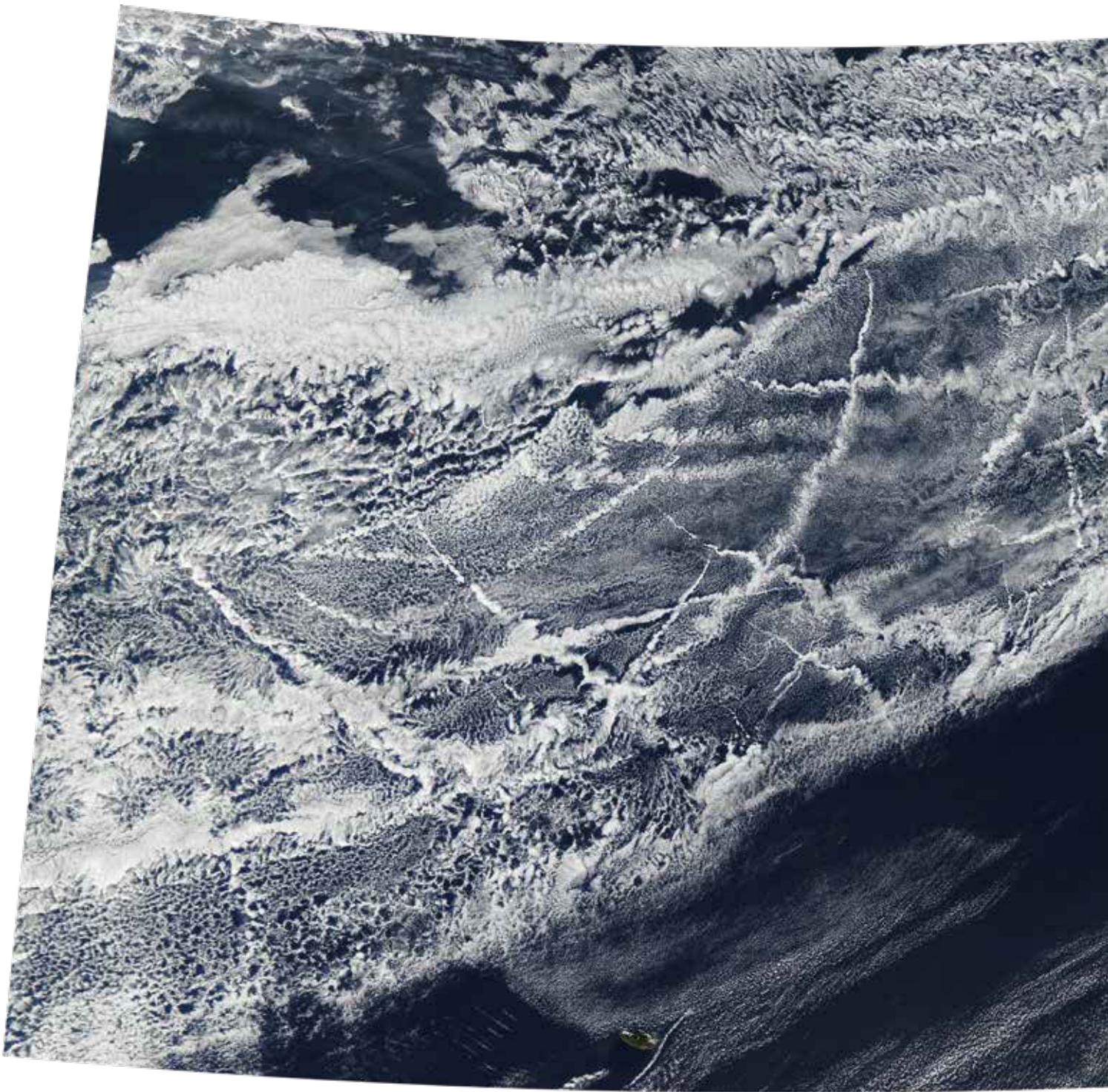
Foto: Thomas Müller

verschwinden, der Boden in einigen Gegenden etwa durch Weidehaltung übernutzt wird und auch die vielfältige Vegetation der Steppenlandschaft unwiederbringlich verloren ist. Dazu sollen möglichst Bedürfnisse der sich entwickelnden mongolischen Gesellschaft mit denen der Natur zusammengebracht werden. »Zum Beispiel könnte zumindest in einigen Regionen auf die Einzäunung der Eisenbahnlinien verzichtet werden, wenn dort nur wenig Vieh gehalten wird«, meint Müller. Möglicherweise ließen sich auch die Ölfelder durchlässiger gestalten, oder die Lastwagen könnten vielleicht in Konvois fahren, damit zu bestimmten Zeiten Wildtierherden die Straßen queren können. MORE STEP bringt dazu Hirtennomaden, Bergbau- und Ölunternehmen sowie Regierungs- und Nichtregierungsorganisationen zusammen, um nach Lösungen zu suchen.

Dass die Menschheit auch ohne die großen Gazellenherden existieren könnte, hält Müller für möglich. Die Mongolen allerdings würden einen wichtigen Teil ihrer Kultur verlieren. Und auf die Frage, ob die Gazellenherden schützenswert sind, sagt er: »Ich habe einmal auf einer kleinen Anhebung in der Steppe gestanden und um mich herum waren vielleicht hunderttausend dieser Tiere, in mehreren großen Gruppen. Das ist absolut faszinierend. Das empfinden die Mongolen dort genauso wie wir Besucher. Jeder, der das einmal erlebt hat, würde die Frage, ob das Wert ist, erhalten zu werden, ganz einfach beantworten, mit ›ja‹.« ●

Mongolische Gazellen und Pferde: Wild- und Weidetiere teilen sich in der ostmongolischen Steppe seit Jahrhunderten den Lebensraum – Gras gibt es im Überfluss.





Fliegender Sonnenschirm über den Ozeanen

Wie Wolken den Klimawandel beeinflussen

von Andreas Lorenz-Meyer



Foto: Aqua-Modis/NASA Earth Observatory; 16.1.2018

Ob wir bei der Erwärmung eher in Richtung plus 2 Grad oder eher in Richtung plus 5 Grad steuern, entscheidet sich zu einem nicht unbedeutenden Teil über den Meeren. Dort beschatten niedrige, flache, sehr großflächige Wolkenschichten die darunterliegende Wasseroberfläche und sorgen so für Abkühlung. Auch in Zukunft noch?

Wer wissen will, wie es weitergeht mit unserem Klima, sollte mal nach oben schauen, zu den Wolken. Die beeinflussen den Strahlungshaushalt der Erde maßgeblich. Einerseits reflektieren sie kurzwellige solare Einstrahlung und schicken diese zurück ins All – der abkühlende Effekt, auch Wolkenalbedo genannt. Andererseits absorbieren sie vom Erdboden zurückgehende langwellige Wärmestrahlung. Die wird daran gehindert, die Atmosphäre zu verlassen – der erwärmende Effekt.

Zusammen haben die Wolken derzeit einen globalen Nettostrahlungseffekt von minus 20 Watt pro Quadratmeter. Das heißt, sie kühlen mehr, als sie erwärmen. Die Erde ist durch sie etwa 5 Grad kühler. Doch muss es nicht beim Ausgangswert minus 20 Watt bleiben, weil sich die Strahlungseigenschaften der Wolken verändern. Zum einen durch das Wolkenfeedback, die Reaktion der Wolken auf die menschengemachte Erwärmung. Zum anderen wegen der anthropogenen Aerosole. Also der winzigen, durch Abgase entstehenden Schwebeteilchen, die direkt an der Wolkenbildung beteiligt sind.

Wolken beeinflussen den Klimawandel

Wie sich diese beiden getrennt ablaufenden Effekte auswirken, untersucht die Physikerin Anna Possner vom Institut für Atmosphäre und Umwelt. Für sie bleiben Wolken »der größte physikalische Unsicherheitsfaktor im Klimawandel«. Vor allem an ihnen liegt es, dass wir noch nicht genau wissen, welcher Temperaturanstieg uns bei welchen CO₂-Konzentrationen erwartet. Was damit zu tun hat, dass Wolken komplexe Gebilde sind, »die Endprodukte vieler einzelner Prozessketten innerhalb der Atmosphäre«. Strahlung, Dynamik, Turbulenz, Bodenflüsse von Wärme und Feuchte, Mikrophysik und Atmosphärenchemie – sie alle tragen zur Bildung einer Wolke bei. »Sie beeinflussen, in welcher Höhe sie wächst, wie viel Strahlung sie reflektiert oder absorbiert, ob sie regnet oder schneit oder einfach verdunstet. In jedem Prozessbaustein überlappen sich die Unsicherheiten – und das erschwert die Quantifizierung des Wolkeneffekts im Klimawandel.«

Zwar werden die »Lücken im Prozessverständnis« kleiner, es gibt immer bessere, höher aufgelöste Modelle. Doch Possner will die Prozesse in den Wolken und ihre Interaktion mit dem Klimasystem noch besser verstehen und in Klimamodellen noch präziser abbilden. »Nur dann lässt sich auch die mögliche Klimasensitivität weiter einschränken.« Diese gibt an, wie viel wärmer es wird, wenn sich die Treibhausgaskonzentration in der Atmosphäre verdoppelt, von den vorindustriellen 280 ppm auf 560 ppm. Der Weltklimarat IPCC sagte für

Ship tracks über dem Nordatlantik vor Portugal und Marokko: Schiffe stoßen Aerosole aus, die zu charakteristischen Wolkengstreifen führen.

diesen Fall zuletzt eine Erwärmung zwischen 2,5 und 4 Grad voraus. Dazwischen liegen Welten, was die künftigen Lebensbedingungen angeht. Für gradgenaue Angaben braucht es mehr Klarheit bei den Wolken.

Niedrige Wolken als Sonnenschirm

Um dahin zu kommen, erforscht Possner ganz bestimmte Typen: die flachen, niedrigen Schicht- und Stratocumuluswolken über den Ozeanen. Schichtwolken, einem dicken Hochnebel ähnlich, haben keinerlei Struktur, ihr Wassergehalt ist gleichmäßig. Bei Stratocumuli unterscheidet sich der Wassergehalt dagegen räumlich. Zusammen bilden beide Wolkentypen einen halbdurchlässigen Sonnenschirm, der eine kühlende Wirkung hat. Was daran liegt, dass bei diesen niedrigen Wolken der Kurzwelleneffekt überall da überwiegt, wo die Sonne scheint, in den Tropen genau wie in der Arktis im Sommer. Das heißt, es wird mehr kurzwellige Solarstrahlung reflektiert als langwellige Wärmestrahlung absorbiert. Der kühlende Ozeanschirm ist riesig: Er überspannt mehr als ein Fünftel aller Meeresoberflächen. Verändert sich etwas an seinen Eigenschaften, hat das besonders dramatische Folgen für das Erdklima, wie Possner erklärt: »71 Prozent der Erde sind Ozeanflächen. Diese sind extrem dunkel und absorbieren 99,3 Prozent der eintreffenden Einstrahlung. Anders als Landflächen, die 10 bis 40 Prozent reflektieren. Für die globale Erwärmung ist die Effektivität des Sonnenschirms auf dem Meer also viel bedeutsamer als über Land. Es macht einen enormen Unterschied, ob sich über der dunklen Ozeanoberfläche eine Wolkenschicht befindet, die zwischen 20 und 40 Prozent der Einstrahlung reflektiert, oder nicht.«

ZUR PERSON



Im Jahr 2018 kam **Anna Possner** von der renommierten Stanford University in den USA nach Frankfurt an die Goethe-Universität, um hier die Gruppe »Atmosphärenphysik und Klima« aufzubauen, welche sich mit der Rolle der Wolken im Klimawandel beschäftigt. Finanzielle Unterstützung gibt es im Rahmen der deutsch-französischen Forschungsinitiative »Make our planet great again«. Zum Thema Wolken ist die 34-Jährige während ihres Studiums der mathematischen Physik im schottischen Edinburgh über die Programmierung gekommen. Das Lösen von Problemen durch das Bauen und Laufenlassen von Modellen bereitet ihr Spaß. Nach einem Praktikum am Max-Planck-Institut für Meteorologie in Hamburg arbeitete Possner mehrere Jahre in der Schweiz an der ETH Zürich, bevor sie in die USA ging.

apossner@iau.uni-frankfurt.de

Schiffsabgase machen Wolken heller

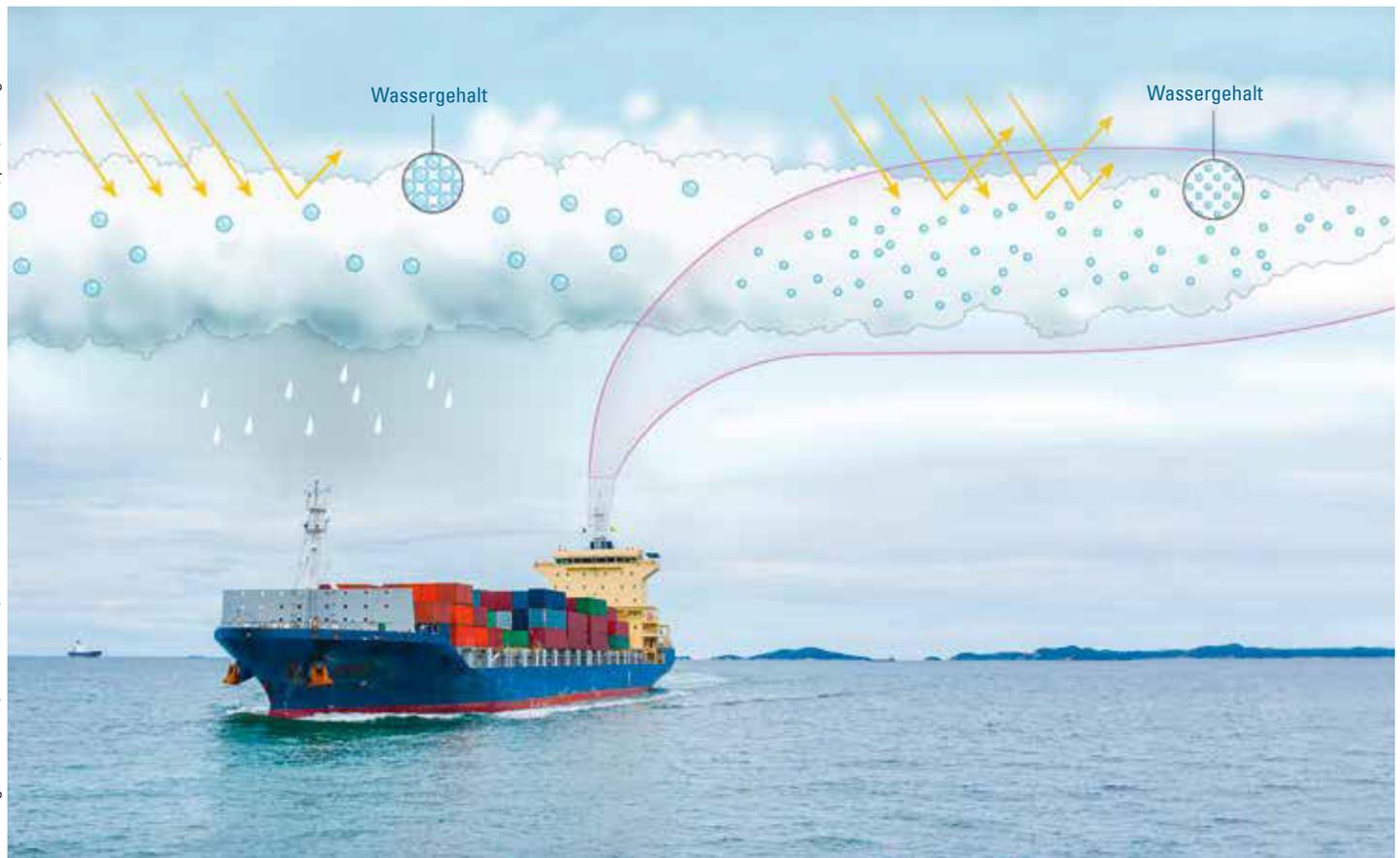
Leider gibt es da schlechte Nachrichten: Wegen der Erwärmung schrumpft der Sonnenschirm über den Ozeanen, sein Material dünnt aus. »Die niedrigen Wolken brennen regelrecht weg und reflektieren damit weniger Solarstrahlung.« Aber es gibt eine kühlend wirkende Gegenkraft, die anthropogenen Aerosole. Auch bei denen gilt: Die Effekte sind auf dem Meer viel dramatischer als an Land. Possner schaut sich genau an, was die Abgasfahnen von kommerziellen Frachtschiffen bewirken, die kreuz und quer über die Ozeane fahren und dabei Unmengen Kleinstpartikel in die Atmosphäre pusten. Unter bestimmten Bedingungen entstehen sogenannte Ship tracks, die auf Satellitenbildern klar zu erkennen sind. »Sie sehen aus wie Kondensstreifen hinter einem vorbeifliegenden Flugzeug. Nur dass sie sich viel weiter unten bilden, innerhalb des untersten Kilometers der Atmosphäre.« Innerhalb der tracks lässt sich genau bemessen, wie viel heller die Wolken durch die Partikel werden.

Diese Aufhellung bewirkt, dass die Wolken mehr Sonnenlicht reflektieren. Das kommt, weil mehr Aerosole die Anzahl Kondensationskeime für Wolkentropfen erhöht. Das heißt, die gleiche Menge Wolkenwasser ist nun auf mehrere kleinere Tropfen verteilt. Die wiederum nehmen für den gleichen Wassergehalt eine größere Gesamtoberfläche ein, was die Albedo erhöht. »Die gestörte Wolke spendet also mehr Schatten als die ungestörte Wolke«, so Possner.

Große globale Wirkung

Wie groß die Wirkung ist, fand sie in einer Studie mit einem US-Kollegen heraus. »Da ist es uns erstmals gelungen, einen Aufhellungseffekt durch Schiffsabgase in Satellitenbeobachtungen nachzuweisen und zu quantifizieren. Wir haben uns einen Schiffskorridor an der Westküste Afrikas angeschaut. Innerhalb dieses Korridors weht der Wind für Teile des Jahres so, dass sich einzelne Abgasfahnen überlappen. Daher war das Signal stärker im Vergleich zur Variabilität und ließ sich so isolieren.«

Es gab also ein klares, robustes Ergebnis, das in der wissenschaftlichen Veröffentlichung »Substantial Cloud Brightening from Shipping in Subtropical Low Clouds« aus dem Jahr 2020 beschrieben wurde. Und zwar global hochgerechnet. Danach reflektieren die Partikel der Schiffsabgase, indem sie marine Schichtwolken aufhellen, global rund 1 Watt pro Quadratmeter an einfallendem Sonnenlicht. »Das ist beachtlich verglichen mit der derzeitigen Erwärmung durch anthropogene Treibhausgase, die bei 4 Watt pro Quadratmeter liegt. Es bedeutet, dass etwa ein Viertel der menschengemachten Erderwärmung durch den kühlenden Wolkeneffekt von men-



Aerosole aus Schiffsabgasen führen dazu, dass sich in den niedrigen Wolken über dem Ozean kleinere und zahlreichere Wassertröpfchen (kleine Kreise) bilden als gewöhnlich. Solche Wolken sind heller und reflektieren daher mehr Sonnenlicht (gelb). Gleichzeitig regnen sie seltener ab, da ihr Wassergehalt geringer ist.

schengemachten Aerosolen über den Meeren kompensiert wird.«

Eiskristalle mindern Kühl-Effekt

Momentan richtet sich Possners Blick auf die niedrigen Wolken im Südozean jenseits des 40. Breitengrads, wo anthropogene Aerosole keine Rolle spielen, da die Gegend wenig befahren ist. Auch dort erstrecken sich Stratocumulusdecks über Hunderte von Kilometern und kühlen die darunterliegende, fast ungestörte Ozeanfläche. Im Gegensatz zu den Subtropen ist es im Südozean so kalt, dass 40 bis 70 Prozent der niedrigen Wolken aus einem Wassertropfen-Eiskristall-Gemisch bestehen. Immer wieder frieren Wolkentropfen – und das verringert die Albedo. Denn Wolkentropfen sind kleiner als Eiskristalle und nehmen bei gleichem Wassergehalt mehr Oberfläche ein. Daher reflektieren Wolken mit viel Wasser mehr Licht als Wolken mit wenig Wasser. Oder andersherum: Je mehr

Kondensat in die Eisphase übergeht, desto geringer die Albedo.

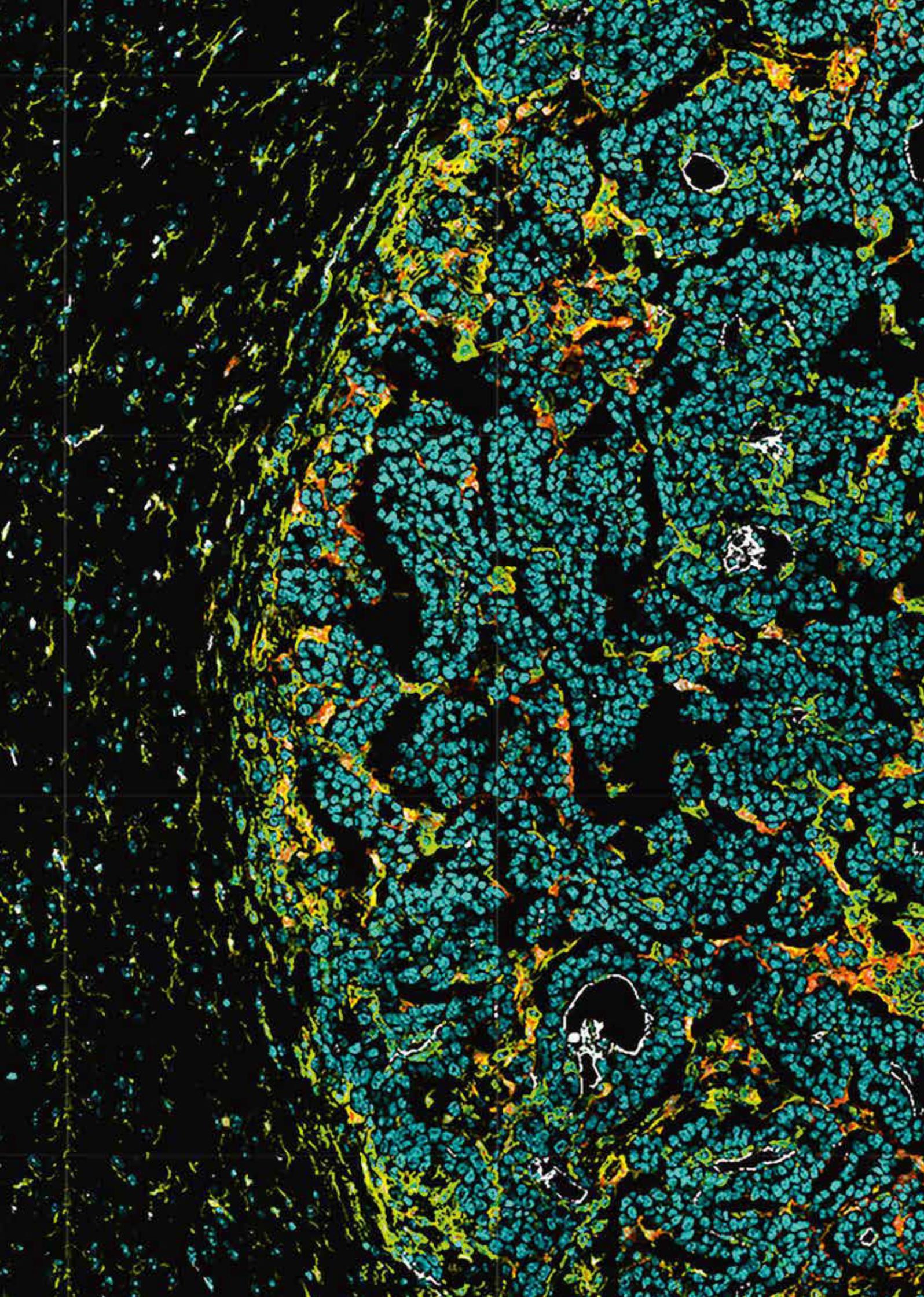
Doch bei Wolken wird es eben schnell mal besonders kompliziert und daher kommt noch etwas dazu, das die Reflexionseigenschaften mitbestimmt: die innere Organisation der Wolken. Die Stratocumuli im Südozean zeigen regelmäßige Muster, die aussehen wie Bienenwaben. Es gibt »volle« und »leere«. Voll heißt, die Wolkenbildung entspringt dem Wabenzentrum. Leer heißt, die Wolkenbildung beginnt an den Rändern. »Zwei dynamisch unterschiedliche Systeme mit unterschiedlichen Reflexionseigenschaften. Volle Zellstrukturen besitzen eine höhere Albedo als leere Wolkenrandzellen. Sie wirken also kühlender.« Possner untersucht gerade ein Detail: Ändert sich durch Eiskristallbildung die innere Organisation? Wird dann aus einer vollen, stärker reflektierenden Wabe eine leere, weniger reflektierende? Das würde einen zusätzlichen Erwärmungseffekt bedeuten. Nach einer ersten statistischen Analyse sieht es jedoch nicht so aus: »Wir haben bisher keinen Beweis, dass die Eiskristallbildung Stratocumuli in eine weniger reflektierende Organisationsstruktur hineintreibt.« Volle Waben bleiben also volle Waben. Bestätigen weitere Studien diesen Zwischenstand, wäre das eine kleine gute Nachricht in punkto Erderwärmung. ●



Der Autor

Andreas Lorenz-Meyer, Jahrgang 1974, wohnt in der Pfalz und arbeitet seit 13 Jahren als freischaffender Journalist mit Schwerpunkt Nachhaltigkeit, Klimakrise, erneuerbare Energien, Digitalisierung. Er veröffentlicht in Tageszeitungen, Fachzeitschriften, Universitäts- und Jugendmagazinen.

andreas.lorenz-meyer@nachhaltige-zukunft.de



Wenn Tumorzellen wandern

Wie Metastasen im Gehirn entstehen

von Anja Störiko

Viele Krebsarten können heutzutage erfolgreich behandelt werden. Doch häufig entstehen tödliche Hirnmetastasen. Wie es Tumorzellen gelingt, die Blut-Hirn-Schranke zu überwinden und im gut geschützten Organ Hirn zu überleben und sich weiter zu teilen, verfolgt die Arbeitsgruppe von Lisa Sevenich im Georg-Speyer-Haus, dem Institut für Tumorbiologie und Experimentelle Therapie.

Wie Tumorzellen ins Hirn wandern, beobachtet das Frankfurter Krebsforschungsteam per Video in präparierten Gewebekulturen aus dem Maushirn: Immer länger streckt sich da eine Zelle aus dem Hirngewebe dem Blutgefäß entgegen, kuschelt sich förmlich an die im Blutstrom angeschwemmte Krebszelle und ermöglicht ihr schließlich den Zugang ins Hirngewebe – durch die normalerweise kaum überwindbare Blut-Hirn-Schranke. Krebszellen, so zeigt das Video, manipulieren offenbar Hirnzellen über die Blut-Hirn-Schranke hinweg zu ihren Gunsten.

Beobachtungen wie diese erlauben weitreichende Erkenntnisse über die Entstehung von streuenden Tumoren. »Uns interessiert diese faszinierende Wechselwirkung von Tumor- und Hirnzellen«, erklärt Lisa Sevenich. Ihre Arbeitsgruppe hat sich eines schwierigen Themas angenommen, den Metastasen.

Zwar gelingt es heute oft, Tumoren an ihrem Entstehungsort durch Operation, Bestrahlung oder Chemotherapie zu bekämpfen. Doch häufig haben sich bereits zuvor Zellen aus dem ursprünglichen (primären) Tumor abgelöst und sind zu anderen Organen vorgedrungen. Metastasen, also Tochtergeschwülste in anderen Organen als der primären Tumorquelle, sind daher mittlerweile die häufigste Todesursache bei Krebspatienten. »Früher starben die Patienten am Primärtumor oder unerkannten Metastasen, heute überleben sie dank früherer Diagnostik und besserer Behandlung –, aber sterben allzu häufig an sekundären Hirntumoren«, so Sevenich. Bisher können Hirntumore nur schwer behandelt werden, weil Eingriffe im Gehirn riskant sind, aber auch weil die zellulären und

molekularen Grundlagen der Entstehung von Hirnmetastasen wenig erforscht sind.

Hirnmetastasen sind häufig, aber kaum erforscht

Insbesondere bei Brust-, Haut- und Lungenkrebs entstehen häufig Metastasen im Gehirn, laut Deutscher Krebsgesellschaft bei 20 bis 45 Prozent der Patientinnen und Patienten. »Wann und warum einzelne Tumorzellen den Primärtumor verlassen, ist bis heute nicht vollständig geklärt«, sagt Sevenich. Auf dem Weg durch den Körper sind die Tumorzellen dem Immunsystem ausgeliefert, das sie überwiegend identifiziert und vernichtet. Weniger als 1 Prozent der Zellen, die über die Blutbahn in den Körper gelangen, überleben die Angriffe des Immunsystems und schaffen es, sich anderswo anzusiedeln. Das Wissen über diese Reise und Ansiedlung von metastasierenden Zellen ist noch am Anfang. Es gibt Zellen, die sich schon sehr früh im Tumorgeschehen ablösen und sich in anderen Organen ansiedeln, dort aber häufig in einem »Schlafzustand« bleiben – bis sie eines Tages »aufwachen« und ihre gefährliche Vermehrung beginnen.

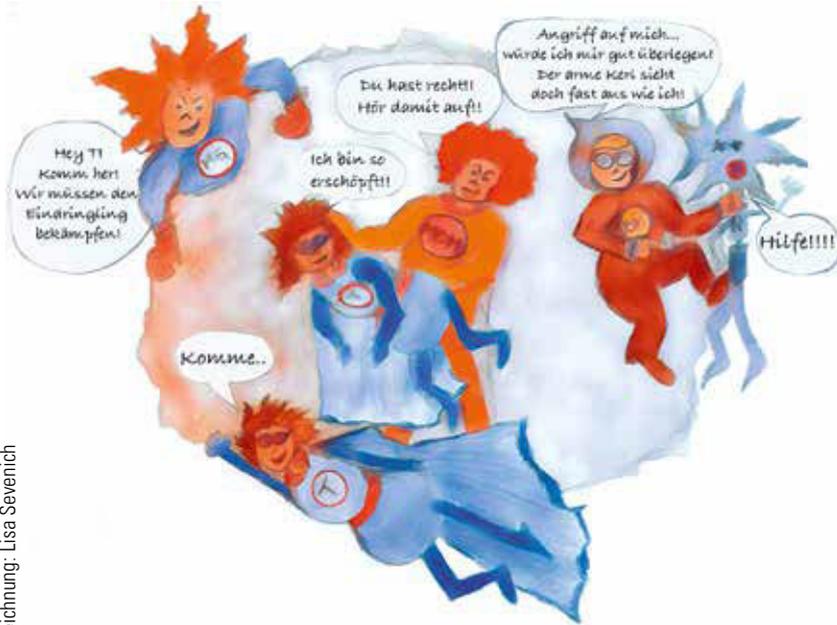
Tumorzellen dringen in das geschützte System Hirn ein

Lisa Sevenich und ihr Team beschäftigen Fragen rund um die Metastasierung: »Wie reagiert ein Organ, in unserem Fall das Hirn, auf ankommende Tumorzellen? Und wie müssen sich die Tumorzellen anpassen, um dort zu überleben?« Denn das Hirn ist ein ganz spezielles und gut geschütztes Organ, dessen Blutgefäße kaum durchlässig sind und das auf diese Weise vom restlichen Körper abgeschirmt ist. Diese Blut-

Sehr ästhetisch, sehr gefährlich: In einer Hirnmetastase sind die Tumorzellen dicht gedrängt (Zellkerne: türkis). Die Abwehrzellen des Gehirns, die Mikroglia (grün und rot), können den Tumor nicht effektiv bekämpfen.

Immunsystem vs. Tumorzellen

Tarnung, Versteckspiele und Missverständnisse



Zeichnung: Lisa Sevenich

Das Gehirn unterdrückt normalerweise Immunreaktionen, um besonders die empfindlichen Neuronen (N) vor Entzündungen zu schützen. Das nutzen Tumorzellen aus, die das Gehirn besiedeln (BM). Mikroglia (MG), die Immunzellen des Gehirns, erkennen zwar diese Eindringlinge; doch sind Mikroglia nicht sehr spezialisiert und können daher die sehr wandelbaren Tumorzellen nicht effizient bekämpfen. Sie benötigen die Hilfe von T-Zellen, die gelernt haben, gezielt Tumorzellen anzugreifen. Allerdings nutzen Tumorzellen gerne eine Art Tarnkappe, um Neuronen zu ähneln. So können sie sich vor dem Immunsystem verstecken und Nährstoffe nutzen, die eigentlich die Neuronen versorgen. Zudem ermöglichen die Tumorzellen anderen Immunzellen, in den Tumor einzuwandern und dort die T-Zellen daran zu hindern, den Tumor anzugreifen. Zwischen den T-Zellen und Mikroglia kommt es durch die Täuschung der Tumorzellen zu Missverständnissen – sie starten vermeintliche Wundheilungsprozesse, doch davon profitieren die als Neuronen getarnten Tumorzellen: Sie vermehren sich.

Hirn-Schranke begrenzt und reguliert sowohl den Austausch von Botenstoffen als auch das Eindringen von Zellen. Das Hirn ist damit auch abgeschirmt vom Immunsystem des Körpers. Es besitzt eigene Immunzellen, die es sehr effizient vor lebensgefährlichen Entzündungen schützen.

Doch Tumorzellen schaffen es, die Blut-Hirn-Schranke zu durchbrechen – ja, die Hirnzellen dabei sogar über diese Barriere hinweg zu manipulieren, wie die oben beschriebene Szene zeigt. Denn die Tumorzellen bringen bestimmte Protein-abbauende Enzyme und spezielle Tumorfaktoren mit, die das eigentlich geschlossene System Hirn mechanisch durchlässig machen und mithilfe von Botenstoffen umprogrammieren. Zwar können Immunzellen aus dem Blut den eindringenden Tumorzellen folgen. Doch sorgen die Tumorzellen dafür, dass diese Immunzellen im Gehirn inaktiv bleiben. »Wir haben herausgefunden, dass Tumorzellen die Abwehr des Körpers regelrecht blockieren und sogar zu ihren Gunsten verwenden«, so Sevenich. Die Tumorzellen schalten die Verteidigungsmechanismen im Hirn ab und programmieren die Immunzellen aktiv für ihre eigene Vermehrung um.

Wie ein spannender Film

Zunächst versuchte das Team um Sevenich, diese den Tumor unterstützenden Zellen des Immunsystems zu blockieren. Doch es stellte sich als sehr schwierig heraus, die Wechselwirkung zwischen Tumor- und Körperzellen zu unterbrechen. »Dabei fanden wir alles, was man für ein spannendes Drehbuch braucht: Tarnung, Versteckspiele, Missverständnisse!«, so die Forscherin. Denn Tumorzellen können sich beispielsweise als Neuronen tarnen und so die Abwehrzellen verwirren (siehe Kasten). Kürzlich gelang es dem Team um Sevenich, mithilfe von Strahlentherapie mehr tumoraktive Immunzellen (T-Zellen) in den Tumor zu locken. Gleichzeitig blockierten die Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler ein unterdrückendes Tumorzell-Signal, um damit die T-Zellen dazu zu bewegen, den Tumor wieder anzugreifen. Aber leider funktioniert dies nur für eine begrenzte Zeit, sodass bislang am Ende der Tumor gewinnt. »Es war frustrierend zu sehen, dass bestimmte Blockaden kurzfristig funktionieren –, aber nach wenigen Tagen oder Wochen wieder die Tumorzellen die Regie übernehmen, eher effizienter als zuvor.« Ziel müsse es daher sein, die ganze Wirkungskette zu verstehen und erst dann gezielt einzugreifen.

Das ist allerdings nicht ganz einfach: Die Arbeitsgruppe forscht vor allem an Mausmodellen, kombiniert mit Zellkulturen (die allerdings immer nur die Untersuchung von Einzelaspekten

ZUR PERSON



Lisa Sevenich, 41, studierte Biologie mit Schwerpunkt Immunologie. Nach ihrer Doktorarbeit in Freiburg entdeckte sie während ihrer Postdoc-Tätigkeit in New York ihre Faszination für Hirnmetastasen. Besonders wichtig ist ihr der Krankheitsbezug ihrer Forschung mit dem Ziel, eines Tages zur Heilung beitragen zu können. 2019 wurde sie für ihre Arbeiten mit dem Preis für Metastasierungsforschung der Beug-Stiftung ausgezeichnet. Ihre Arbeiten werden im Rahmen des Max-Eder-Nachwuchsgruppenprogramms der Deutschen Krebshilfe gefördert.

sevenich@gsh.uni-frankfurt.de



Dr. Lisa Sevenich und Doktorand Dominic Menger mit einer Petrischale, in der sich eine dünne Scheibe eines Mausgehirns befindet. Das Gewebe wird zunächst transparent gemacht, bevor die Zellen gefärbt und unter dem Mikroskop analysiert werden.

erlauben). In den Mäusen gelangen die Tumorzellen bei beiden Versuchen in die Blutbahn; einige wenige siedeln sich im Hirn an. Von dort können die Tumorzellen isoliert, in Zellkultur gezüchtet und untersucht werden. Um genügend Tumorzellen zu gewinnen, die es bis ins Gehirn schaffen, wird dieser Zyklus wiederholt, sodass sich die Tumorzellen im Hirn anreichern. So können die Forscherinnen und Forscher Veränderungen im Zell-, Protein- und Wirkmuster ablesen.

»Wir wollen verstehen, wie die Tumorzellen ihre Umgebung so »erziehen«, dass sie ihrem Zweck dient – und irgendwann wollen wir es schaffen, diesen Prozess zu blockieren«, hofft Sevenich. »Menschlich ausgedrückt: Die Immunzellen sind sehr bemüht, aber es kommt immer wieder zu Missverständnissen zwischen den unterschiedlichen Immunzellarten. Sie wollen zwar die Hirnzellen schützen und die Tumorzellen zerstören, verwechseln aber durch Tricks der Tumorzellen diese Aufgaben. Wir wollen sie unterstützen, ihren Job zu machen.« Dazu suchen die Forscherinnen und Forscher weiter nach Strategien, wie Immunzellen in Hirnmetastasen wachgehalten werden können, bis sie wissen, wie sie nur den Tumor und nicht die Neuronen angreifen – und den Tumor schließlich besiegen.

Erkenntnisse für viele Krankheitsbilder

Der Weg zur Heilung von Patientinnen und Patienten ist noch weit. Doch die sportliche und agile Forscherin liebt es, sich den schwierigen Herausforderungen zu stellen. Auf dem Gebiet

der Hirnmetastasen arbeiten nur wenige Arbeitsgruppen, denn zum einen sind Eingriffe im Hirn riskant, zum anderen leben Patienten nach Entdeckung der Hirnmetastasen meist nur noch wenige Monate, sodass die Zeit für eine Behandlung äußerst begrenzt ist.

»Ich glaube, die Reaktion des Körpers auf den Tumor ist nicht sehr spezifisch, sondern gleicht eher einer Stressantwort«, erklärt Sevenich. »Wenn wir die Prozesse verstehen, wer hier wen manipuliert, dann können wir das vermutlich auch auf andere Krankheiten übertragen – denn neurologische Erkrankungen wie Alzheimer lösen ähnliche Antworten in Immunzellen aus.«

Beunruhigend ist, dass sich häufig Tumorzellen früh auf den Weg in neue Gewebe machen – teils vor der Erkennung des ursprünglichen Tumors. Vielfach bleiben sie dort im »Schlafstadium« und beginnen eines Tages, oft erst Jahrzehnte später, sich zu teilen. Die Gründe dafür sind unbekannt. Ein Ziel von Sevenichs Arbeitsgruppe ist es, diese Mechanismen zu verstehen und möglicherweise Wege zu finden, das unschädliche Schlafstadium der Tumorzellen aufrechtzuerhalten.

Viele Erkenntnisse ihrer Forschung findet Sevenich selbst nicht nur spannend, sondern auch beängstigend: »Von unseren noch sehr grundlegenden Erkenntnissen über Hirntumoren zu Therapieansätzen ist der Weg leider sehr weit«, ist ihr bewusst. »Aber die Sorge, dass es einen selbst oder einen Nahestehenden treffen könnte, ist natürlich auch ein Antrieb, das »Ökosystem« der Tumoren zu verstehen.« ●



Die Autorin

Dr. Anja Störiko, 56, ist promovierte Mikrobiologin.

Sie arbeitet als freie Journalistin für Publikumszeitschriften, ist Redakteurin der Fachzeitschrift »BIOspektrum« und hat Bücher zu Gesundheitsthemen verfasst.

Die Erkenntnisse zu den Metastasen weckten in ihr gemischte Gefühle: Erschrecken, aber auch Bewunderung für den Mut, sich der Herausforderung Hirnmetastasen anzunehmen.

anja@stoeriko.de

<http://stoeriko.de>



SCHNELLER,
IMMER SCHNELLER

Die unbewegten Beweger

Wie kleinste Teilchen fast so schnell werden wie das Licht

von Dirk Eidemüller

Teilchenbeschleuniger sind unverzichtbare Bestandteile der modernen Forschungslandschaft. Einige ihrer Herzstücke kommen aus Frankfurt.

Sie sind die unbewegten Beweger der modernen Wissenschaft: Festgemauert auf massiven Fundamenten ruhen Teilchenbeschleuniger in sich, schließlich sind sie Präzisionsinstrumente, deren Komponenten auf den Bruchteil eines Millimeters zueinander ausgerichtet sind. All die riesigen Magnetspulen und Beschleunigungsstrukturen, die das Herzstück einer solchen Teilchenkanone ausmachen, dürfen sich im Betrieb nicht vom Fleck rühren. Im Innern herrschen jedoch extreme Zustände. Ein beinahe perfektes Vakuum sorgt dafür, dass winzige Teilchen kollisionsfrei durch die Röhren sausen können. Riesige elektromagnetische Kräfte zerren dank ausgeklügelter Elektrotechnik an den Partikeln und beschleunigen sie bis an den Rand des naturgesetzlich Erlaubten – nämlich fast bis auf Lichtgeschwindigkeit.

»Kein Materieteilchen kann sich mit exakter Lichtgeschwindigkeit oder gar schneller bewegen«, sagt Ulrich Ratzinger, Professor für

Beschleunigerphysik an der Universität Frankfurt. »Das folgt aus Albert Einsteins Relativitätstheorie.« Man kann sich dieser Grenzgeschwindigkeit aber immer weiter annähern. Dabei kommt es zu einem interessanten Effekt: Wenn man schon nahe an der Lichtgeschwindigkeit ist und mithilfe der elektromagnetischen Felder immer weiter Energie in die beschleunigten Teilchen pumpt, dann steigt ihre Geschwindigkeit zwar kaum noch. Stattdessen nimmt aber ihre Masse immer weiter zu. Nach Einsteins berühmter Formel, dass Energie gleich Masse mal Lichtgeschwindigkeit im Quadrat ist, kann man in Teilchenbeschleunigern also Beschleunigungsenergie in Teilchenmasse umwandeln.

Riesensterne und Urknallforschung

»Auf diese Weise lassen sich heutzutage leichte Teilchen wie Elektronen oder Protonen auf ein Vielfaches ihrer ursprünglichen Masse bringen, die sie im Ruhezustand besitzen«, erklärt

Koloss aus Kupfer und Stahl: Im Innern der Beschleuniger werden die Teilchen durch elektromagnetische Felder zwischen den Kupferringen beschleunigt. Während sie durch die Ringe fliegen, sind sie abgeschirmt. Das Feld kann jetzt seine Richtung wechseln und beim Austritt aus dem Ring den Teilchen weiteren Schub verleihen.

Ratzinger. Mit dieser zusätzlichen Masse bringen sie dann auch entsprechend mehr Impetus mit, wenn sie auf andere Teilchen oder einen Zielkörper knallen. In den Trümmern solcher Kollisionen suchen die Forscher dann nach neuartigen Teilchen oder physikalischen Effekten. Man kann die Strahlung, die in Teilchenbeschleunigern entsteht, aber auch nutzen, um Materialien zu durchleuchten.

Aus der heutigen Wissenschaft sind die unbewegten Bewegungsenergieumwandler jedenfalls nicht mehr wegzudenken. Wissenschaftler suchen mit ihnen nicht nur nach der rätselhaften Dunklen Materie und vermessen die Eigenschaften von Elementarteilchen. Man kann mithilfe rasanter Partikel auch die Prozesse im Innern von Riesensternen nachstellen oder das ultraheiße Plasma aus Atomkernmaterie erzeugen, das im Universum kurz nach dem Urknall vorherrschte. Aus Teilchenbeschleunigern lässt sich

extrem brillante Röntgenstrahlung mit Lasercharakteristik auskoppeln. Dazu eignet sich der European XFEL in Hamburg hervorragend. Diese Anlage liefert die schärfsten Röntgenpulse weltweit und hat Deutschland in dieser Forschungskategorie an die Weltspitze katapultiert. Mit dieser Maschine lassen sich neuartige Materialien, biologische Proben und chemische Prozesse auf kürzesten räumlichen und zeitlichen Skalen durchleuchten.

»Neutronen gibt es nicht von der Stange«

Aber auch in zwei anderen Bereichen entstehen derzeit hierzulande Teilchenbeschleuniger, die Arbeit an der vordersten Front der Wissenschaft ermöglichen. Bei Darmstadt befindet sich das Beschleunigerzentrum FAIR (Facility for Antiproton and Ion Research) in Fertigstellung. Aufbauend auf der jahrzehntelangen Expertise der südhessischen Schwerionenforschung bei GSI wird hier in internationaler Kollaboration ein Teilchenbeschleunigerkomplex errichtet, der eine riesige Zahl von Fragen aus Grundlagen- und angewandter Forschung klären soll. Und in Frankfurt befindet sich FRANZ im Bau, die »Frankfurter Neutronenquelle am Stern-Gerlach-Zentrum«. Diese ist zwar klein im Vergleich zu FAIR, soll aber ebenfalls dank technologischer Innovationen bislang in dieser Form nicht durchführbare Messungen ermöglichen.

»Mit FRANZ wollen wir exakt definierte Neutronenstrahlen mit einzigartiger Strahlqualität erzeugen«, sagt Ratzinger. Neutronen eignen sich zwar hervorragend, um Materialien zu durchleuchten und ergänzen sich sehr gut mit Röntgenstrahlung. Aber während sich Röntgenstrahlung als elektromagnetische Strahlung aus Röntgenröhren oder Anlagen wie dem European XFEL einfach auskoppeln lässt, ist die Erzeugung von Neutronenstrahlung sehr viel

In Darmstadt entsteht beim GSI Helmholtzzentrum für Schwerionenforschung die neue Beschleunigeranlage FAIR. Die Technologie für eine der beiden ersten Beschleunigerstufen, ein Linearbeschleuniger für Protonen, kommt aus Frankfurt.



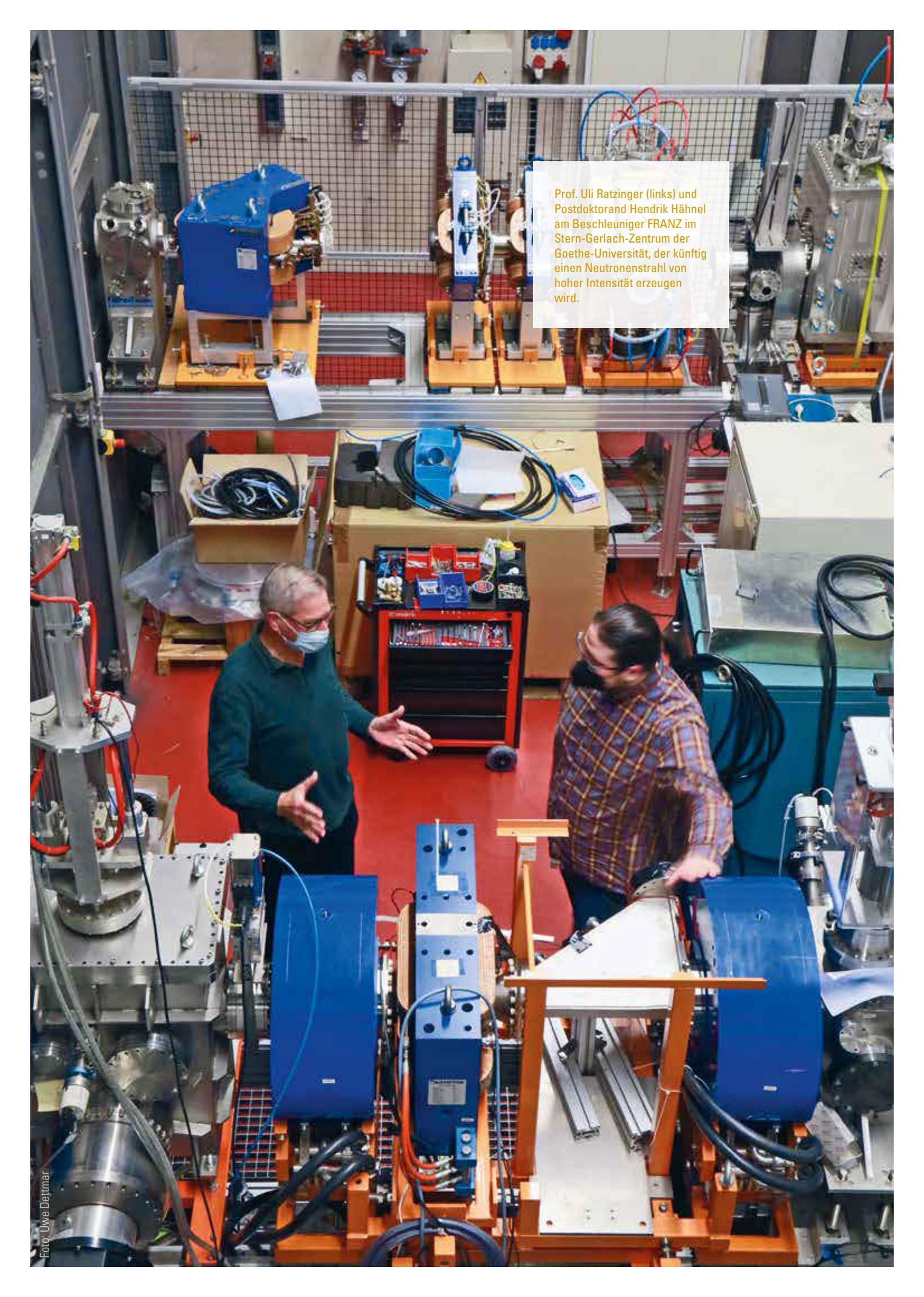
Foto: Dieter Fehrenz/GSI/FAIR

ZUR PERSON



Uli Ratzinger, Jahrgang 1956, studierte Physik an der TU München. Seine Doktorarbeit schrieb er über die Entwicklung von Teilchenbeschleuniger-Kavitäten. Seit 1987 ist er an der GSI Darmstadt tätig, wo er sich um Design und Realisierung neuartiger Linearbeschleunigertechnik für GSI und CERN kümmert. Außerdem war er an der Entwicklung eines speziellen Beschleunigertyps für die Tumorthherapie beteiligt, der am HIT Heidelberg und dann auch an anderen Therapiezentren zum Einsatz kam. Seit 1999 widmet er sich supraleitenden Beschleunigerkomponenten und insbesondere dem neuen Hochstrom-Protonenlinearbeschleuniger bei GSI/FAIR. Im Jahr 2000 wurde er Professor an der Universität Frankfurt. 2009 erhielt er die Gerald Kucera Laureatus Professorship für seine ausgezeichneten Beiträge zur Beschleunigertechnologie. Im Jahr 2003 hat er die Bevattech mitgegründet, die ebenfalls im Bereich der Linearbeschleuniger aktiv ist.

u.ratzinger@iap.uni-frankfurt.de



Prof. Uli Ratzinger (links) und Postdoktorand Hendrik Hänel am Beschleuniger FRANZ im Stern-Gerlach-Zentrum der Goethe-Universität, der künftig einen Neutronenstrahl von hoher Intensität erzeugen wird.

AUF DEN PUNKT GEBRACHT

- Teilchenbeschleuniger bringen mithilfe elektromagnetischer Felder winzige Teilchen bis nahe an die Lichtgeschwindigkeit.
- An der Goethe-Universität werden Konzepte für Linearbeschleuniger entwickelt, zum Beispiel für den eigenen Neutronenbeschleuniger FRANZ und für den Ionenbeschleuniger FAIR in Darmstadt.
- Beschleuniger dienen hauptsächlich der Grundlagenforschung. Bei GSI in Darmstadt zum Beispiel wurde aber auch eine Krebstherapie mit Kohlenstoff-Ionenstrahlen entwickelt.

schwieriger. Neutronen gibt es nicht von der Stange: Sie befinden sich zusammen mit den Protonen in Atomkernen und müssen aus diesem »Käfig« erst einmal freigesetzt werden. Das geschieht bislang vor allem in Forschungsreaktoren. »Aber in Zukunft wird man diese Reaktoren durch spezielle Teilchenbeschleuniger wie FRANZ ersetzen, da Letztere sehr wohldefinierte und exakt kontrollierbare Neutronenstrahlen liefern können«, erklärt Ratzinger.

Exotische Anforderungen

Bei FRANZ soll ein Linearbeschleuniger pro Sekunde 250 000 Protonenpulse liefern, die dann auf einen Zielkörper geschossen werden. Dabei werden bei jedem Puls Neutronen freigesetzt, die sich anhand ihrer Geschwindigkeit separieren lassen. Auf diese Weise erhält man Neutronen mit klar definierten Eigenschaften, mit denen sich einerseits astrophysikalische Fragen – etwa zur Umwandlung von Elementen in Riesensternen – beantworten lassen. Andererseits versprechen sich die Forscher davon auch neue Ansätze zur Krebstherapie, indem man die Neutronen mit einer borhaltigen Substanz reagieren lässt, die sich an Tumore anlagert.

»Die Spezifikationen, die FRANZ aufweisen soll, haben uns anfangs einiges an Kopfzerbrechen bereitet. Die Forschungsgemeinde hat hier ziemlich exotische Wünsche weitab der üblichen Beschleunigertechnologie geäußert«, sagt Ratzinger. So mussten die Frankfurter Spezialisten nicht nur ein Design für eine extrem schnelle Pulsfolge von 250 000 Pulsen pro Sekunde liefern – weit oberhalb anderer Teilchenbeschleuniger. Zugleich soll FRANZ einen sehr starken Strahl erzeugen, damit möglichst viele Neutronen entstehen. »Dazu mussten wir neuartige Komponenten entwickeln, wie einen kompak-

ten Hochfrequenzbeschleuniger für hohe Protonenströme und schnell schaltende, transversale elektrische Felder, die die aus der Quelle fliegenden Protonen in rasantem Takt von Mikrosekunden zu Pulsen formen.«

Platzsparendes Design für FAIR-Beschleuniger

Während FRANZ ein regionales Verbundprojekt ist, wird FAIR das kommende internationale Schwerionen-Großforschungszentrum. Die technologischen Herzstücke sind einerseits die Beschleunigertechnik und andererseits die Teilchendetektoren. Bei großen Teilchenbeschleunigern hat es sich bewährt, zwei Typen von Beschleunigern miteinander zu koppeln: Anfangs bringt ein Linearbeschleuniger die Teilchen auf Trab, dahinter übernehmen Ringbeschleuniger – sogenannte Synchrotrons – die bereits rasanten Teilchenpakete und bringen sie dann zu höchsten Energien. FAIR besitzt gleich zwei Ringbeschleuniger, die beiden Schwerionensynchrotrone »SIS18« und »SIS100«. Die Technik für die »Einspeise-Linearbeschleuniger« kommt größtenteils aus Frankfurt.

»Wir haben bei dem neuen FAIR-Protonen-Linearbeschleuniger auf ein neuartiges, kompaktes Design gesetzt, mit dem wir die Dimension des Linearbeschleunigers rund um die Hälfte reduzieren konnten im Vergleich zu früheren Modellen«, sagt Ratzinger. Möglich wird dies durch eine geschickte Geometrie der Hohlräume und der elektromagnetischen Felder, die in diesen Kavitäten schwingen und dabei die Teilchenpakete beschleunigen. Dieses platz- und energieeffiziente Design spart nicht nur Strom im Betrieb, sondern auch eine Menge Beton: Denn ein so starker Teilchenbeschleuniger muss mit dicken Betonwänden abgeschirmt werden, damit keine gefährliche Teilchenstrahlung nach außen dringt.

Krebstherapie und Neutronensternforschung

Wenn FAIR in einigen Jahren in Betrieb geht, wird man dort von leichten Protonen bis hin zu schweren Elementen Teilchen aller Größenordnung beschleunigen können – und sogar Antiprotonen, also Teilchen aus Antimaterie, erzeugen können. »Außerdem können die Experimentatoren seltene, kurzlebige und exotische Atomkerne, die bei Kollisionsexperimenten entstehen, aus dem Teilchenstrahl separieren und mit ihnen Präzisionsexperimente durchführen«, sagt Ratzinger.

Neuartige Krebstherapien testen, sich an den Urknall herantasten, Materie unter extremen astrophysikalischen Bedingungen untersuchen, den Ursprung der Elemente erforschen: All das wäre ohne Teilchenbeschleuniger nicht möglich. Die unbewegten Bewegungen offenbaren uns, was die Welt im Innersten bewegt. ●



DER AUTOR

Dirk Eidemüller,

Jahrgang 1975, studierte Physik und als Nebenfach Philosophie in Darmstadt, Heidelberg, Rom und Berlin, schloss mit einem Diplom in Astroteilchenphysik ab und promovierte in Wissenschaftsphilosophie. Er wohnt in Berlin und arbeitet als freier Autor und Wissenschaftspublizist.

dirk.eidemueller@gmx.de



Videoerkennung: Ist es Kochen oder Winken?

von Markus Bernards

Gegenstände und Gesichter können Computer schon recht gut erkennen, auch dass sich etwas bewegt und in welche Richtung. Schwierigkeiten bereiten der Künstlichen Intelligenz aber noch zu erfassen, um welche Art von Bewegungen es sich handelt. Das lernen Computer jetzt im Labor von Prof. Hilde Kühne an der Goethe-Universität.

Nach ihrem 80. Geburtstag meldete sich Lydia S., eine alleinstehende Dame, beim Hausnotrufdienst der Caritas an. Sie erhielt einen Druckschalter an einer Schnur. Ein Druck auf den Knopf löste in der Zentrale des Hausnotrufdienstes Alarm aus, und eine Mitarbeiterin meldete sich per Telefon bei Frau S. und fragte, ob alles in Ordnung sei. Wenn sie in ihrer

Wohnung war, hängte sie sich den Schalter um den Hals. Er gab ihr das gute Gefühl, Hilfe herbeirufen zu können, sollte sie zum Beispiel einmal stürzen. Als Lydia S. dann einen leichten Schlaganfall erlitt, stürzte und den Notruf dringend gebraucht hätte, lag der Schalter auf dem Sessel, wo sie ihn beim Fernsehen hingelegt hatte – unerreichbar für die am Boden Liegende. Es dauerte eine Weile, bis sie sich aus eigener Kraft aufrappeln und zum Telefonapparat schleppen konnte, um Hilfe zu rufen.

Notrufsysteme für ältere Menschen in Form von Handsendern zum Umhängen oder an Armbändern haben den Nachteil, dass sie abgelegt und im entscheidenden Moment nicht erreichbar sein können. Videokameras etwa in der Wohnung sind allerdings kaum eine akzeptable Alternative. »Niemand möchte sein Zuhause per Video von einem Notdienst überwachen las-

An Tausenden von Kochvideos lernt der Computer, welche Bewegung »schneiden« ist.

sen«, meint Hilde Kühne, Juniorprofessorin für Bilderkennungssysteme und maschinelles Lernen an der Goethe-Universität. »Schon gar nicht das Schlafzimmer oder das Bad, wo man aber schnell in eine kritische Situation kommen kann.«



ZUR PERSON

Prof.in Dr. Hilde Kühne, Jahrgang 1979, studierte Informatik (Computervisualistik) an der Universität Koblenz-Landau und promovierte am Karlsruher Institut für Technologie. Stationen ihres wissenschaftlichen Arbeitens waren das Fraunhofer-Institut für Kommunikation, Informationsverarbeitung und Ergonomie und die Universität Bonn, bevor sie als Forscherin an das MIT-IBM-Watson AI Lab des Massachusetts Institute of Technology in den USA wechselte. Seit 2021 ist sie zusätzlich Juniorprofessorin für Bilderkennungssysteme und maschinelles Lernen an der Goethe-Universität. Sie ist Mitgründerin des Unternehmens KS-Research und wurde jüngst mit dem ICCV Helmholtz Prize ausgezeichnet zur Würdigung einer Arbeit, die zehn Jahre nach ihrer Veröffentlichung ihre Relevanz für die Forschung bewiesen hat.

kuehne@em.uni-frankfurt.de

Schutz der Privatsphäre

Vielleicht wäre es anders, wenn zwar in der Wohnung Videokameras aufgehängt würden, die Bilder aber nur ein Computer und kein Mensch zu sehen bekäme? Wenn der Computer bei einem Sturz den Notdienst alarmieren würde, ohne die Videodaten selbst zu übermitteln? Dann bliebe die Privatsphäre gewahrt, denn »der Computer interessiert sich nicht für die Person, die durch die Wohnung geht«, meint Kühne, die am automatischen Erkennen von Bewegungen forscht. »Für den Computer sind Videos schlicht Zahlenkolonnen.«

Um Stürze zu melden, müsste der Computer sie allerdings erst einmal von anderen Bewegungen unterscheiden können. Das ist allerdings schwerer als die Identifizierung von Gesichtern und Objekten auf Fotos. Denn das Computertaining mit Videos ist aufwändiger, alleine schon wegen der riesigen Datenmengen, die dafür verarbeitet werden müssen. 50 bis 100 Video-Einzelbilder (Frames) sind nötig, damit eine Bewegung sichtbar wird – also die 50- bis 100-fache Datenmenge eines Fotos.

Viele Begriffe für dieselbe Bewegung

Zudem trainieren Computer klassischerweise mit Texten, die beschreiben, was auf Fotos oder Videosequenzen zu sehen ist. Solche Verschlag-

wortungen, Annotationen genannt, werden von Menschen gemacht, die die Bilder ansehen und beschreiben. Auf diese Weise lernt der Computer, was zum Beispiel eine Tasse ist, wenn er sehr viele Bilder sieht, die mit der Annotation »Tasse« versehen sind. Bei Videos ist es viel zeitaufwändiger, Annotationen zu erstellen und so genug Trainingsmaterial zu erhalten, alleine wegen der großen Datenmengen und der längeren Zeitspannen, die für Videos veranschlagt werden müssen.

Dazu kommen zwei weitere Probleme: Zum einen gibt es für dieselbe Bewegung oft unterschiedliche Begriffe, die auch davon abhängen, wie lange eine Bewegung beobachtet werden kann. Kühne: »Wenn ich jemandem nur drei Sekunden zusehe, kann ich zum Beispiel sagen ›er rennt‹ oder ›er läuft‹. Wenn ich ihn 20 Sekunden beobachte, weiß ich ›er sprintet‹ oder ›er joggt‹. Sehe ich noch mehr von dem Video, und es taucht ein Hund auf oder eine Bushaltestelle, erkenne ich: ›Er flüchtet vor dem Hund‹ oder ›er hastet zur Bushaltestelle‹. Die Aufgabe, Bewegungen zu erkennen, ist daher schlecht definierbar, für Mensch und Computer.«

Lösung: Autonomes Lernen

Das zweite Problem liegt darin, wie Menschen den Datenstrom verarbeiten, den sie über Augen und Ohren empfangen. Wir nehmen Bewegungen nicht als etwas Kontinuierliches wahr, sondern unterteilen sie in kleinere Abschnitte, um sie uns zu merken. Im Gehirn werden diese Abschnitte dann wieder zu einem kontinuierlichen Bewegungsablauf zusammengefügt. Wie viele einzelne Abschnitte wahrgenommen werden, hängt dabei von den individuellen Erfahrungen und Fähigkeiten jedes Betrachters ab. Hilde Kühne nennt als Beispiel das Kunstturnen bei Olympia: »Die geschulten Wertungsrichter können den Bewegungsablauf einer Kür genau analysieren. Ich als Laie sehe dieselbe Abfolge, kann aber die einzelnen Elemente kaum unterscheiden.«

Wie also soll der Computer lernen? Autonom, findet Hilde Kühne, nicht mehr anhand von Annotationen, sondern selbstständig. Kühnes Team schöpft dazu aus einem Pool von 100 Millionen YouTube-Videos. Zum Lernen ist der Computer mit einem künstlichen neuronalen Netz bestückt. Dabei handelt es sich um Algorithmen, die im Prinzip so funktionieren wie Nervenzellen in einem Gehirn. »Eigentlich aber sind es mathematische Funktionen, die Zahlenkolonnen in andere Zahlenkolonnen umwandeln«, sagt Kühne.

Computer-Training

Aus jedem Videoclip erhält der Computer drei Informationen: Die eigentliche Videosequenz,

AUF DEN PUNKT GEBRACHT

- An 100 Millionen YouTube-Videos lernen Computer im Labor, Bewegungen zu erkennen.
- Da Textbeschreibungen für Bewegungsvideos verhältnismäßig aufwändig sind, trainieren die Computer autonom. Das Ziel: Videobild, Ton und Untertitel einer Bewegung werden durch Algorithmen miteinander verknüpft.
- Anwendungen sind beim Assistant Living denkbar oder im Erkennen gefährlicher Situationen in der Videoüberwachung.

die eine Bewegung zeigt, den Ton des Videos und eventuell noch Untertitel, die im Video eingeblendet werden. Ein Beispiel wäre eine Sequenz aus einem Kochvideo, in der die YouTube-Köchin eine Paprika schneidet und dabei spricht: »Jetzt schneiden wir die Paprika in Würfel.« Gleichzeitig erscheint im Untertitel »Paprika in Würfel schneiden«.

Für den Computer sind die Informationen Video, Ton und Untertitel drei Zahlenkolonnen, aus denen er mithilfe einer mathematischen Funktion drei Punkte in einem sogenannten Embedding Space errechnet, den man sich als großen, durchsichtigen Würfel vorstellen kann. Kühne erklärt: »Wir wollen eine mathematische Funktion finden, die die drei Zahlenkolonnen zur Bewegung ›schneiden‹ so übersetzt, dass sie drei nahe beieinanderliegende Punkte im Embedding Space bilden. Video-, Ton- und Untertiteldaten einer anderen Bewegung wie zum Beispiel ›winken‹ sollte entsprechend drei Punkte an einer anderen Stelle des Embedding Space generieren.«

Das Training des Computers besteht nun darin, viele Videos zu analysieren und für verschiedene Bewegungen jeweils Punktgruppen im Embedding Space zu generieren. Im nächsten Schritt zeigen die Informatikerinnen und Informatiker dem Computer annotierte Videos, sodass er die Punktgruppen mit den dazugehörigen Begriffen wie »schneiden« oder »winken« verknüpfen kann und nun »weiß«, wie die jeweiligen Bewegungen genannt werden.

Viele Anwendungen

Irgendwann soll der Computer dann die verschiedensten Bewegungen erkennen können, auch wenn sie Teile eines längeren Videos mit vielen Szenen sind, und er wird dieselben Bewegungen der Klassifikation »schneiden« zuord-

nen, auch wenn die Sprecher in den Videos statt »schneiden« von »schnibbeln«, »zerteilen«, »auslösen« oder »klein-«, »ab-« oder »zuschneiden« sprechen. Und er wird auch unterscheiden können, ob Gemüse, die Gartenhecke oder ein Video geschnitten wird.

Und wenn er zwischen »stürzen« und »hinknien«, »sich bücken« oder »sich setzen« differenzieren kann, ist er vielleicht reif als diskreter Helfer im Hausnotdienst. Weitere Anwendungen könnten das autonome Fahren sein, wo er zur Vermeidung von Unfällen beiträgt, oder auch die Wissenschaft, die er bei der Auswertung von Verhaltensstudien unterstützt.

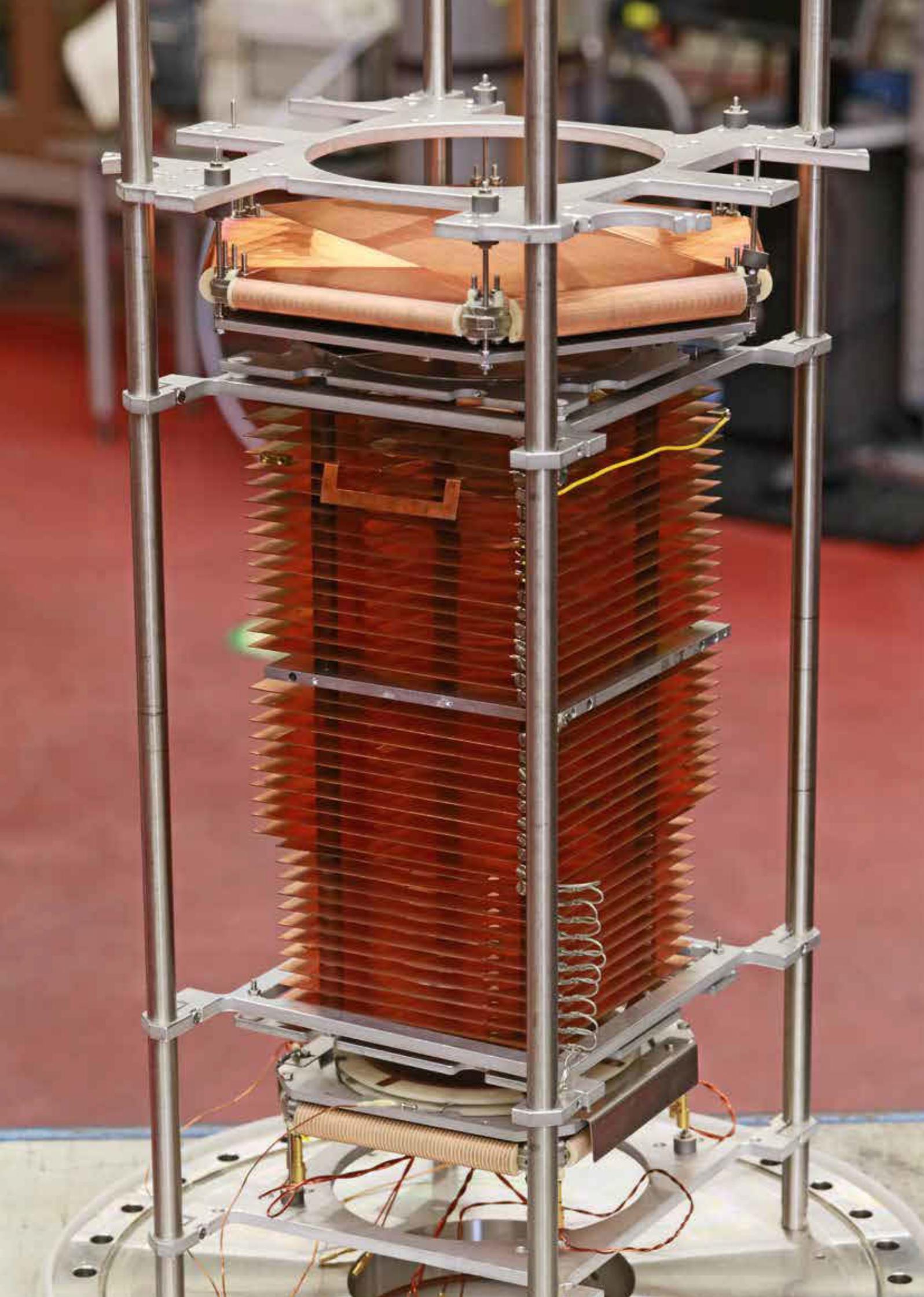
Soweit sind das gute Aussichten für die Zukunft. Aber wird diese Technik nicht auch dazu führen, dass man uns noch besser überwachen kann, als das jetzt schon der Fall ist? »Überwachung ist erst einmal nichts Negatives«, findet Hilde Kühne. »Überwachung ist meiner Meinung nach erst einmal neutral. Man kann sie natürlich missbrauchen wie nahezu jede Technologie, das sollten wir gut im Auge behalten. Doch gerade Bewegungserkennung könnte wie zum Beispiel beim Assistant Living helfen, die Privatsphäre zu schützen. Wenn man auf U-Bahnhöfen eine Gefahrensituation wie eine Schlägerei erkennen möchte, kann der Computer helfen, gewisse Aktivitäten höher zu priorisieren als zum Beispiel das Bild von einem Bahnsteig mit Kindern bei einem Abklatschspiel. Denn niemand kann sich sämtliche Überwachungsvideos dauernd ansehen. Die Idee ist also nicht, dass der Computer die Weltherrschaft übernimmt, sondern dass wir dadurch, dass wir in der Lage sind, große Datenmengen automatisiert zu verarbeiten und zu filtern, für den Menschen Entscheidungen leichter machen und ihnen so ermöglichen, bessere Entscheidungen zu treffen.« ●



Der Autor

Markus Bernards,
Jahrgang 1968, ist promovierter
Molekularbiologe,
Wissenschaftsjournalist
und Redakteur von
Forschung Frankfurt.

bernards@em.uni-frankfurt.de



Schrödingers Katze kitzeln

Wenn ein Molekül gleichzeitig auseinanderfliegt
und gebunden bleibt

von Dirk Eidemüller

In Erwin Schrödingers Gedankenexperiment ist eine Katze in einer Kiste zugleich tot und lebendig. Was es in unserer Welt nicht geben kann, ist im Mikrokosmos der Quantenphysik durchaus möglich: Dinge, die eigentlich einander ausschließen, geschehen gleichzeitig. Mit einem Reaktionsmikroskop wie COLTRIMS – eine Frankfurter Entwicklung – lässt sich die geheimnisvolle Quantendynamik wie auf einem Präsentierteller betrachten.

Keine andere wissenschaftliche Theorie ist zugleich so erfolgreich in ihren Vorhersagen und dennoch so umstritten in ihrer Interpretation wie die Quantenphysik. Seit ihrer Begründung vor rund 100 Jahren durch Niels Bohr, Werner Heisenberg, Erwin Schrödinger und einige weitere Kollegen haben die eigentümlichen Konsequenzen der Quantentheorie Generationen von Physikern und Philosophen in Verwirrung gestürzt.

Kann die Natur wirklich so eigenartig sein, wie die Quantenphysik das behauptet? Sind Teilchen zugleich Wellen? Geschehen Dinge aus blankem Zufall, ohne kausale Wirkung? Kann es sein, dass weit voneinander getrennte Teilchen trotzdem ein eng verbundenes System bilden, obwohl sie keine physikalische Wirkung miteinander austauschen können?

Diese revolutionären Behauptungen müssen nach heutigem Stand der Wissenschaft allesamt mit ja beantwortet werden. Dabei erschienen sie sogar Albert Einstein, der mit seinen frühen Arbeiten selbst wichtige Grundlagen der späteren Quantentheorie gelegt hat, so widersinnig, dass er sie zeit seines Lebens ablehnte, ja sogar bekämpfte und viele Jahre vergeblich nach einer alternativen Theorie suchte. Heute wissen wir: Hier war Einstein auf dem Holzweg. Die Quantenphysik – so eigenartig sie sein mag – funktioniert, auch wenn sie unser Alltagsver-

ständnis von Realität arg strapaziert. Es gibt allerdings inzwischen neuartige Instrumente, mit denen sich das mysteriöse Geschehen im Mikrokosmos eindrucksvoll in Vergrößerung beobachten lässt. Ein solches Gerät heißt COLTRIMS (engl. für »Cold Target Recoil Ion Momentum Spectroscopy«).

»Wir bezeichnen diese Apparatur auch als »Reaktionsmikroskop«, weil sie es erlaubt, blitzschnelle chemische Reaktionen zu beobachten und dabei die Veränderungen von Atomen und Molekülen auf der fundamentalen quantenphysikalischen Ebene zu untersuchen«, erklärt Reinhard Dörner, der an der Universität Frankfurt eine Arbeitsgruppe für Atomphysik leitet.

Ein Mikroskop für atomare Dynamik

Die Funktionsweise eines Reaktionsmikroskops ist im Prinzip nicht allzu kompliziert: In einer Vakuumkammer schießt man einen sehr starken Laserstrahl oder Röntgenstrahlung auf das zu untersuchende Molekül, das daraufhin zerbricht. Die auseinanderfliegenden Bruchstücke werden mit elektromagnetischen Feldern zu empfindlichen Detektoren geleitet und dort registriert. »Kurz gesagt, machen wir Atome und Moleküle kaputt, um etwas über ihre Struktur herauszufinden«, so Dörner. Da man alle Parameter kennt, lässt sich aus dem Bild am Detektor rückschließen auf das ursprüngliche

Das Herzstück des COLTRIMS-Reaktionsmikroskops: Mit den vielen Kupferplatten, die im Inneren kreisförmig ausgeschnitten sind, werden elektrische Felder erzeugt. Wenn per Laserblitz etwa in der Mitte der Apparatur ein Gasmolekül zertrümmert wird, lenken die Felder die Elektronen nach oben und die positiv geladenen Ionen nach unten.



$$i\hbar \frac{\partial}{\partial t} |\psi_n(t)\rangle = \hat{H} |\psi_n(t)\rangle \Psi$$



In unserer Welt kann eine Katze nicht gleichzeitig tot und lebendig sein. In der Quantenwelt, so berechnete Erwin Schrödinger, wäre dies jedoch möglich. Quantenteilchen können mehrere Werte zugleich einnehmen.

Molekül, also auf die Position der einzelnen Atome im Molekül sowie die Orientierung des Moleküls im Raum.

Damit lässt sich nicht nur die allgemeine Struktur von Molekülen ermitteln, sondern sogar seine Händigkeit – also ob es in einer linksdrehenden oder rechtsdrehenden Variante vorliegt. Das ist vor allem bei Arzneistoffen relevant, denn Biomoleküle mit der falschen Händigkeit können im Extremfall stark toxisch sein. Diese Analyse funktioniert bereits bei einfachen Molekülen aus bis zu 20 Atomen.

Dabei ist die Technik noch relativ jung und erst seit rund 20 Jahren etabliert. »COLTRIMS ist eine Frankfurter Entwicklung, die von Professor Horst Schmidt-Böcking vorangetrieben wurde«, erzählt Dörner. »Noch vor zehn Jahren gab es weltweit nur rund zwei Dutzend dieser Reaktionsmikroskope, heute sind es schon deutlich über 100, und es werden immer mehr.« Attraktiv



an diesen Geräten ist, dass man mit ihnen quantenphysikalische Prozesse auf winzigen räumlichen und zeitlichen Skalen sichtbar machen kann.

Denn Quantenteilchen verhalten sich nicht nur wie Wellen. Sie können auch – solange sie nicht beobachtet werden – eigenartige Überlagerungszustände einnehmen, bei denen sie zwei oder mehr Werte zugleich annehmen. Erwin Schrödinger war von dieser Konsequenz seiner eigenen Theorie derart befremdet, dass er sich später von der Quantentheorie ab- und ganz neuen Betätigungsfeldern zuwandte. Er illustrierte diese Überlagerungszustände mit seinem berühmten Paradoxon von »Schrödingers Katze«. In diesem Gedankenexperiment ist eine Katze in einer Kiste mit einem quantenphysikalischen Tötungsmechanismus eingesperrt, der sie mit 50-prozentiger Wahrscheinlichkeit umbringt. Schrödinger zufolge ist der Zustand der armseligen Katze zur Hälfte tot und zur Hälfte lebendig, solange die Kiste nicht geöffnet wird. Der Zustand der tot-lebendigen Katze ist quasi über die Kiste »verschmiert«.

ZUR PERSON



Reinhard Dörner, Jahrgang 1961, studierte Physik und Philosophie in Frankfurt und Aachen und promovierte in Physik an der Universität Frankfurt. Es folgte ein Aufenthalt am Lawrence Berkeley National Laboratory in den USA, bevor er nach Frankfurt zurückkehrte. Seit 2002 ist er dort Professor am Institut für Kernphysik und war seitdem auch wiederholt Studiendekan für Physik. Von 2010 bis 2017 war er geschäftsführender Direktor des Instituts für Kernphysik. 2016 gewann er den Helmholtz-Preis, die höchste Auszeichnung für Metrologie in Deutschland, die für besondere Leistungen bei der Entwicklung von Präzisionsmessungen vergeben wird. Seit 2016 ist er außerdem Mitglied des Editorial Board von Physics Review Letters, der wichtigsten physikalischen Fachzeitschrift..

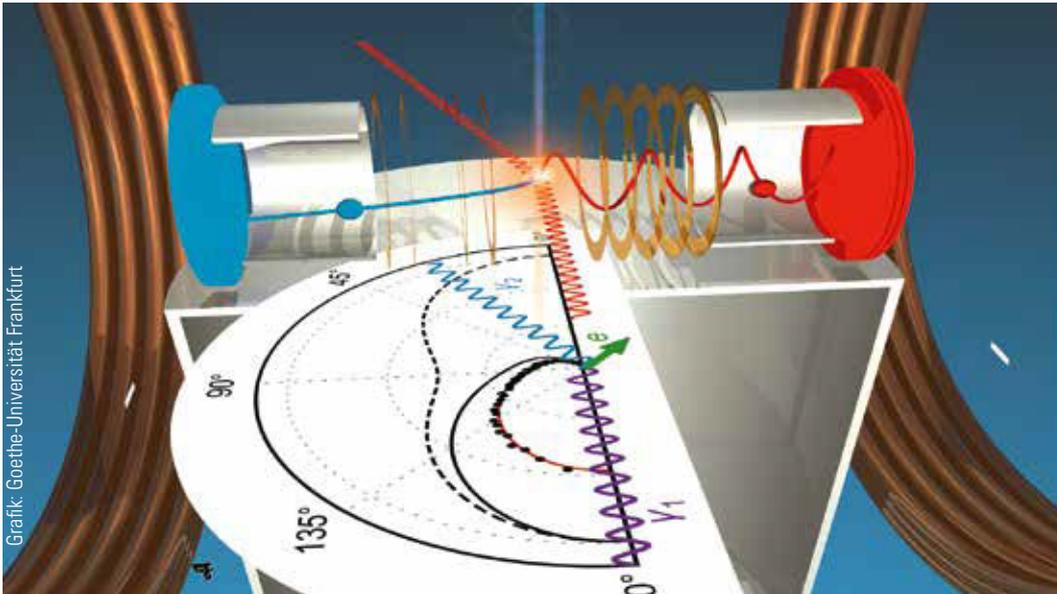
doerner@atom.uni-frankfurt.de

Ein katzenhaftes Helium-Molekül

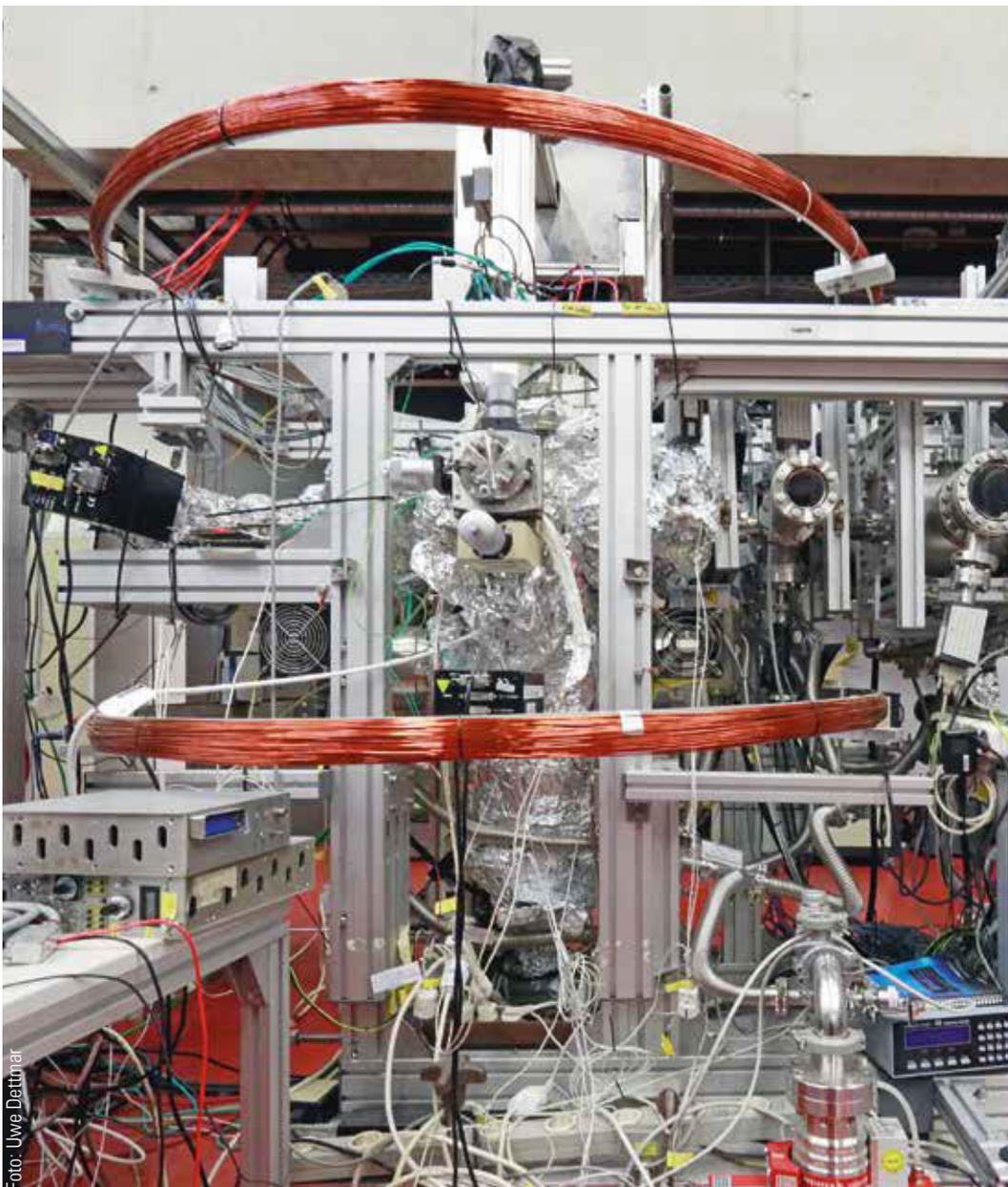
»Was bei Katzen und anderen großen Objekten unmöglich ist, lässt sich mit Molekülen aber durchaus bewerkstelligen«, erläutert Dörner. Die Frankfurter Arbeitsgruppe hat ein Experiment ausgeklügelt, bei dem genau dieser Effekt sichtbar wird. Dazu haben die Forscher Helium-Atome extrem heruntergekühlt. Eigentlich geht das Edelgas keine Bindungen ein. Bei sehr tiefen Temperaturen können sich dennoch zwei Helium-Atome zu einem sehr locker gebundenen Molekül zusammenschließen.

»Auf dieses Helium-Molekül schießen wir dann hintereinander zwei Laserpulse, einen schwachen und einen starken«, sagt Dörner. Der erste Puls bringt das Molekül in einen der eigenartigen quantentypischen Überlagerungszustände. So wie Schrödingers Katze sowohl tot als auch lebendig ist, ist das Helium-Molekül nun halb intakt und halb auseinandergebrochen. Diese Überlagerung, die in der makro-

Grafik Katze: local doctor/shutterstock, Foto: IMAGNO/Votava/Süddeutsche Zeitung Photo



So funktioniert das COLTRIMS-Reaktionsmikroskop: Schlägt ein Laser oder Röntgenblitz (Photon, rote Wellenlinie) ein Elektron aus einem Molekül, so wird das Elektron durch elektrische Felder in einer schraubenförmigen Bewegung nach rechts abgelenkt. Das positiv geladene Ion hingegen wird in gerader Linie nach links dirigiert. An beiden Seiten messen Detektoren, wie lange die Teilchen nach Zerschlagung des Moleküls bis zum Auftreffen benötigen.



Viel Technik: das COLTRIMS-Reaktionsmikroskop in Frankfurt.

Grafik: Goethe-Universität Frankfurt

Foto: Uwe Dettmar

A close-up photograph of a circular copper mesh filter, likely used in a laboratory setting. The mesh is composed of fine, interwoven copper wires, creating a dense grid pattern. The filter is mounted on a white surface, and other parts of the apparatus are visible in the background. A yellow text box is overlaid on the left side of the image, containing text in German.

AUF DEN PUNKT GEBRACHT

- Mit dem COLTRIMS-Reaktionsmikroskop lassen sich extrem schnelle chemische Reaktionen beobachten. So wurde der aktuelle Weltrekord in der Kurzzeitmessung (247 Zeptosekunden) mit einem solchen Reaktionsmikroskop aufgestellt.
- Das Instrument kann zum Beispiel die Überlagerung zweier Elektronenwellen sichtbar machen, die jeweils nur mit einer gewissen Wahrscheinlichkeit entstehen – ein Effekt aus der Quantenwelt.



Sehr energiereiche Röntgenblitze liefert die Röntgenstrahlungsquelle PETRA III am Beschleunigerzentrum DESY in Hamburg. Am Strahlrohr P04 in der Experimentierhalle »Max von Laue« (langes, gebogenes Gebäude auf dem Luftbild) steht ein COLTRIMS-Reaktionsmikroskop, eines von mittlerweile zahlreichen solcher Instrumente rund um den Globus. In Hamburg machen auch Physikerinnen und Physiker aus Frankfurt Experimente.

skopischen Welt nicht auftreten kann und deshalb unserer Anschauung widerspricht, hat aber sehr reale Effekte, wenn man sie mithilfe des Reaktionsmikroskops vergrößert.

Das geschieht mit dem zweiten, starken Laserpuls. Dieser schlägt die Elektronen aus dem System, sodass sich nun die »nackten«, positiv geladenen Helium-Ionen gegenseitig abstoßen. Das führt aufgrund des vorher induzierten Überlagerungszustands zu interessanten Interferenzeffekten, die sich am Detektor messen lassen. »Wir kitzeln sozusagen Schrödingers Katze und bringen sie dazu, sich zu bewegen«, erklärt Dörner. »Was wir dann am Detektor beobachten können, ist, wie die unbewegte, tote Katze und die lebendige, angetriebene Katze beide einen Einfluss auf das Messergebnis haben.« Solche Phänomene sichtbar machen zu können, die Koryphäen wie Einstein und Schrödinger zur Verzweiflung getrieben haben, ist aber nur eine der faszinierenden Möglichkeiten, die Reaktionsmikroskope eröffnen.

Die schnellste Zeitmessung

Da sie Dinge auf winzigen Skalen vergrößern, haben sie kürzlich sogar die schnellste Zeitmessung eines natürlichen Prozesses möglich gemacht. »Wir konnten bestimmen, wie lange ein Lichtpuls braucht, um durch ein Wasserstoffmolekül zu fliegen«, sagt Dörner. Dies dauert 247 Zeptosekunden – und ist um Größenordnungen kürzer, als das Licht für eine einzige Schwingung braucht. Eine Zeptosekunde ist eine billionstel milliardstel Sekunde. Nun gibt es kein Messgerät, das eine so unglaublich

kurze Zeitspanne direkt messen könnte. Stattdessen machten sich die Wissenschaftler die hochenergetische Röntgenstrahlung am Hamburger Beschleunigerzentrum DESY zunutze, die sie auf Wasserstoffmoleküle in einem dort installierten Reaktionsmikroskop lenkten. Der Röntgenstrahl schlug mit einer kleinen Wahrscheinlichkeit ein Elektron am einen oder anderen Ende aus dem Molekül (das aus zwei Protonen und zwei Elektronen besteht).

Da Quantenteilchen zugleich Wellen sind, entstanden bei dieser Reaktion zwei überlagerte Elektronenwellen (wie bei Schrödingers Katze), die aber minimal zueinander versetzt waren – wie die Wasserwellen, die entstehen, wenn man einen flachen Stein über einen Teich hüpfen lässt. Im Gegensatz zu einer direkten Zeitmessung lässt sich die Interferenz zwischen diesen Wellen im Reaktionsmikroskop aber gut bestimmen – und daraus die Zeitspanne ermitteln, wie lange der Röntgenpuls gebraucht hat, um das Elektron auf der einen oder anderen Seite zu erreichen.

Diese Rekordmessung belegt eindrucksvoll, wie man mit Reaktionsmikroskopen extrem kurze Zeitskalen zugänglich machen kann. »Wir wollen umgekehrt bei größeren Molekülen auch untersuchen, wie die Ausbreitung von Informationen gebremst wird, wenn viele Elektronen beteiligt sind«, sagt Dörner. Was nun Einstein und Schrödinger zu diesen Quantentricks mit Zeitmessungen anhand von Teilchenwellen und halb-stillstehenden, halb-expandierenden Katzenmolekülen gesagt hätten, das steht allerdings in den Sternen. ●

Detail des COLTRIMS-Herzstücks: Der Elektronendetektor besteht aus feinen Kupferfäden. Trifft ein Elektron diese Fäden, so wird ein Signal ausgelöst.

Der Autor

Dirk Eidemüller
dirk.eidemuller@gmx.de

(siehe Seite 24)

A high-angle, blurred photograph of a busy public space, likely a train station or airport terminal. The floor is made of light-colored, rectangular tiles. Several people are walking, their figures blurred to convey motion. A large, semi-transparent red circle is overlaid on the center of the image. Inside this circle, the text "DER MENSCH IN BEWEGUNG" is written in a bold, red, sans-serif font. In the bottom foreground, a woman with dark hair, wearing a black tank top, is seen from behind, looking towards the right. She is holding a blue water bottle and some papers or a bag. The overall atmosphere is one of constant activity and movement.

DER MENSCH
IN
BEWEGUNG

Kein Kinderkram

Wenn der »Zappel-Philipp« erwachsen ist

von Jan Schwenkenbecher

ADHS ist eine Kinderkrankheit? Das stimmt so nicht. Bei etwa der Hälfte aller Betroffenen bleibt die Erkrankung auch im Erwachsenenalter bestehen. Die richtigen Medikamente in der richtigen Dosis helfen den Betroffenen, doch es ist nicht immer leicht, sie zu bestimmen. Der Arzt Oliver Grimm möchte diese Suche verbessern.

Das Kokain half. Es machte ihn nicht zappelig oder aufgedreht, wie so viele andere Menschen. Mit der richtigen Menge wurde der Malermeister ruhiger, konnte sich besser konzentrieren und vergaß nicht ständig, auch die Rechnungen hinterherzuschicken, wenn er mal wieder seine Arbeit auf einer Baustelle abgeschlossen hatte. Eine Selbstmedikation – kein Arzt verschreibt Kokain –, aber sie half. Zumindest für eine gewisse Zeit. »Auf lange Sicht ging das dann total schief«, sagt Oliver Grimm, der den Malermeister in der Ambulanz an der Klinik für Psychiatrie, Psychosomatik und Psychotherapie des Frankfurter Universitätsklinikums als Patienten kennenlernte. »Irgendwann war er den Führerschein los.«

Grimm ist Facharzt für Psychiatrie und leitet die Ambulanz. Neben der alltäglichen Arbeit mit den Patienten, die sich dort vorstellen, forscht er. Einer seiner Schwerpunkte dabei: die Aufmerksamkeitsdefizit-/Hyperaktivitätsstörung, kurz ADHS. Und genau daran, an ADHS, litt auch der Malermeister, der sich bei Grimm in der Ambulanz vorstellte.

ADHS-Ursache noch nicht bekannt

Moment mal, stopp. Ist ADHS nicht eine Kinder-Erkrankung? Ist es schließlich doch auch bekannt als Zappelphilipp-Syndrom, benannt nach der Figur des Zappel-Philippus aus dem vom Frank-

furter Arzt und Psychiater Heinrich Hoffmann 1844 verfassten Bilderbuch »Struwwelpeter«. Ist ADHS heute nicht die Erkrankung, bei der Kinder Ritalin bekommen und damit wieder konzentriert am Schulunterricht teilnehmen können, die sich dann aber im Teenageralter wieder verwächst?

Ja und nein. Richtig ist: Die Erkrankung tritt häufig im Kindes- und Jugendalter auf. Etwa 5 Prozent aller Kinder und Jugendlichen sind betroffen. Die Symptome sind Probleme mit der Aufmerksamkeit, Impulsivität und starke Unruhe. Als Ursache wird vor allem eine Störung des Hirnreifeprozesses wegen Frühgeburt oder Geburtskomplikationen diskutiert – final entschieden ist die Diskussion darum noch nicht. Falsch ist aber, dass ADHS eine reine Kinderkrankheit ist. Denn auch Erwachsene sind betroffen. Zwar entsteht die Krankheit immer im Kindesalter, bei etwa der Hälfte der Betroffenen bleiben Teile davon aber mehr oder weniger stark auch im Erwachsenenalter bestehen.

Erwachsenen-ADHS bei Stress

»Es gibt auch viele Psychiater und Psychotherapeuten, die das nicht wissen«, sagt Oliver Grimm. Deswegen gibt es in der von Grimm geleiteten Ambulanz eine Spezialsprechstunde für ADHS im Erwachsenenalter. »Der Fokus liegt dabei auf der Diagnose, nicht so sehr auf

Innere Unruhe: Auch wenn die ADHS der Kindheit überwunden scheint, leiden auch viele Erwachsene noch daran. Besondere Anforderungen – Einstieg ins Berufsleben, Familiengründung, Hausbau – lassen die Betroffenen an ihre Grenzen kommen.



Viele Symptome: Neben Aufmerksamkeitsstörungen, Hyperaktivität und Impulsivität leiden erwachsene ADHS-Kranke häufig unter mehreren Nebensymptomen, darunter depressive Stimmungseinbrüche mit Gefühlen von Minderwertigkeit und Aussichtslosigkeit.

der Therapie«, sagt Grimm. Wer in die Sprechstunde kommt, wird untersucht, und anschließend besprechen die Ärzte mit den Besuchern, ob womöglich ADHS vorliegt. Ist das der Fall, empfehlen sie den Betroffenen Ärzten, die die weitere Behandlung übernehmen.

»Die Leute, die zu uns kommen, sind ganz unterschiedlich alt. Manche sind gerade 18 geworden, andere sind schon 60 Jahre alt oder älter«, sagt Grimm. »Einen Schwerpunkt gibt es aber so im Alter von Ende 20 bis Ende 30.« ADHS tritt vor allem dann hervor, wenn es besondere Anforderungen von außen gibt. Und gerade in diesem Alter kommt vieles zusammen: der Einstieg ins Berufsleben, eine eigene Wohnung wird finanziert und eine Familie gegründet, womöglich kommen Kinder. »Es kommen öfter mal Personen, die im Kindesalter einst die Diagnose ADHS bekamen, dann aber lange keine Probleme damit hatten. Sie bissen sich so durch und mit Mitte 30 kommen sie dann zu uns in die Ambulanz, weil sie an ihre Grenzen kommen«, sagt Grimm.

Keine Wunderpille

Die Idee der Sprechstunde sei aber schon, so Grimm, dass man gerade im jungen Erwachsenenalter nochmal gezielt nach ADHS schaue. »Auch im Alter von 60 Jahren kann ADHS noch das Leben beeinträchtigen und zu Problemen führen. Aber da ist vieles schon entschieden. Mit 18, 19, 20 Jahren kann die richtige Diagnose noch einen richtigen Unterschied fürs weitere Leben machen.«

Für viele Besucher der Sprechstunde hat das den größten Stellenwert: die richtige Diagnose. Manche wollen eine Wunderpille, die ihnen das Leben wieder leichter macht. Andere wollen einfach nur eine Erklärung dafür, dass ihnen manche Sachen so schwerfallen. Wieder andere wollen sogar lieber hören, dass sie kein ADHS haben – etwa, weil sie als Kind mal die Diagnose bekamen, heute aber keine Beschwerden mehr haben und eine Karriere bei der Polizei anstreben. »Das zu klären – ob es einen relevanten Leidensdruck gibt oder ob es »nur« um eine Erklärung geht –, das ist eine sehr wichtige Aufgabe für uns im Erstgespräch«, sagt Grimm.

Fotos: Aninka Bongers/Sutterstock (Blister), Alex Green/Pexels (Person)

ZUR PERSON



Oliver Grimm, Jahrgang 1975, ist Facharzt für Psychiatrie und Psychotherapie. Über Stationen in Mannheim, Berlin und Zürich kam er 2016 als Oberarzt an die Klinik für Psychiatrie, Psychosomatik und Psychotherapie der Frankfurter Universitätsklinik. Seit 2019 ist er dort der Leiter der Ambulanz. Neben der täglichen Arbeit in der Klinik forscht Grimm zu ADHS und leitet die Arbeitsgruppe »Adult ADHD and Reward System Pathologies«. Die Ergebnisse seiner Forschung wurden in zahlreichen wissenschaftlichen Journals veröffentlicht. Neben der Arbeit zu ADHS ist die psychische Erkrankung Schizophrenie ein weiterer Schwerpunkt seiner Forschungsarbeit.

oliver.grimm@kgu.de

Denjenigen, die auf der Suche nach der Wunderpille sind, muss Grimm meist die Hoffnung nehmen. In einigen Fällen sind die Effekte der Medikamente zwar wirklich enorm. In den meisten Fällen ist es aber eher so, dass sie schon helfen, nicht aber alle Probleme lösen, die bei den Betroffenen so vorliegen. Und manchmal müssen Ärzte auch verschiedene Medikamente in unterschiedlichen Dosen ausprobieren, bis sie einen Hilfe bringenden Weg gefunden haben. Genau auf diese Fälle zielt die Forschung, die Oliver Grimm mit seinem Team durchführt: Welchen Patienten hilft welche Behandlung am besten?

Genetisches Risikoprofil

Einer seiner zentralen Forschungsgegenstände dabei: die Genetik. ADHS ist zu einem großen Teil genetisch bestimmt, um die 70 Prozent der Entstehungsgründe sind auf die Gene zurückzuführen, schätzen Experten. Das ist schon eine Weile bekannt: »In Zwillingsstudien sah man schon vor langer Zeit, dass ADHS bei eineiigen Zwillingen im Vergleich zu zweieiigen Zwillingen klar überrepräsentiert ist. Es musste also einen bedeutenden genetischen Anteil geben«, sagt Grimm. »Aber inzwischen können wir durch genomweite Assoziationsstudien sagen, welche Bereiche im Genom das sind.«

Bei dieser Art Untersuchung schauen sich Forscher verschiedene Variationen eines Gens an und prüfen, welchen Einfluss sie haben. Zum Beispiel kann an einer Stelle im Gen eines der Basenpaare bei einem Drittel der Menschen anders aufgebaut sein als bei den anderen zwei Dritteln – Wissenschaftler sprechen dann von verschiedenen Allelen. Das kann egal sein, es kann aber einen Einfluss auf die Menschen haben. Wer nun riesige Datenbanken mit den genetischen Informationen von Zehntausenden Menschen hat, kann berechnen, ob eine bestimmte Genvariante die Wahrscheinlichkeit erhöht, an ADHS zu erkranken.

»Wir suchen dabei aber nicht nach einzelnen Genen«, erklärt Oliver Grimm. »Viele dieser kleinen Unterschiede können die Chance um einen kleinen Teil erhöhen, sie haben nur einen kleinen Einfluss.« Eine Zukunftsidee der ADHS-Forschung weltweit sei deswegen, dass Ärzte ein genetisches Risikoprofil erstellen könnten. Auch Grimm arbeitet daran. »Damit könnten wir eventuell vorhersagen, dass für dieses oder jenes Risikoprofil auch diese oder jene Therapie besser geeignet ist.« Der Score entsteht dann – etwas vereinfacht erklärt –, indem wir alle klitzekleinen Gen-Varianten und ihren jeweiligen Einfluss auf das ADHS-Entstehungsrisiko zusammenrechnen. »In anderen Bereichen, in der Onkologie zum Beispiel, wer-

den solche Risikoprofile in der klinischen Diagnostik schon erstellt«, so Grimm.

Forschung mit Künstlicher Intelligenz

Später könnten wir dann noch weitere Untersuchungsergebnisse hinzurechnen, etwa Gehirnuntersuchungen mittels fMRT. »Vielleicht packen wir bald alle Daten in ein KI-Modell und ein Algorithmus sagt uns vorher, welche Therapie einem Patienten nutzt«, sagt Grimm. »Oder ob ein Patient ein hohes ADHS-Risiko hat, auch das würde uns schon sehr weiterhelfen.« Damit ginge zwar die Information dazu verloren, wie und warum ADHS entsteht und wie und warum welche Therapie hilft. Für die Forschung seien diese Informationen zwar interessant. Aber für den Therapeuten und vor allem für den Patienten sei es viel wichtiger, dass die Behandlung helfe – unabhängig davon, wie und warum sie wirke. Man müsse zwar immer aufpassen, dass es kein Ungleichgewicht in den Daten gebe, die man in die Software einspeise, wenn Algorithmen im Spiel sind, so Grimm. Sonst bekomme man ein Modell, das womöglich Minderheiten benachteilige. Denkbar wäre zum Beispiel, dass eine KI das ADHS-Risiko für Jungs besser berechnen kann als für Mädchen, weil die ADHS-Symptome bei Mädchen weniger stark nach außen gerichtet sind, die Krankheit deswegen nicht so ins Auge fällt, seltener diagnostiziert wird und ein Datensatz deswegen ausführlichere Informationen zum Zusammenhang zwischen ADHS und dem männlichen Geschlecht liefert. »Aber das sind bekannte Probleme der KI-Forschung, die man kontrollieren kann.«

Ebenso wichtig sei aber die Aufklärung über das Krankheitsbild. Über die Symptome, über die Behandlungsmethoden, mit denen Ärzte in der Regel gute Erfolge erzielen und bei den Problemen der Betroffenen helfen können. Und vor allem, dass auch Erwachsene ADHS haben können. ●



Der Autor

Jan Schwenkenbecher, Jahrgang 1998, ist freier Wissenschaftsjournalist und lebt im Rhein-Main-Gebiet. Er hat in Gießen und Marburg Psychologie studiert und danach im Volontariat bei der Süddeutschen Zeitung das journalistische Handwerk gelernt.

jan.schwenkenbecher@posteo.org

WAS KANN DER SPORT LEISTEN?

Bilanz eines Forschungsprojekts zur Integration von Migranten

von Jan Schwenkenbecher

Der Sport sei einer der größten Treiber der Integration, heißt es immer. Das kann so sein, wenn die Voraussetzungen stimmen. Welche das sind und was Sportvereine brauchen, um Integrations-Angebote zu schaffen, das haben Forscher der Goethe-Uni im Projekt »InBewegung« erforscht.

1186702 Menschen zogen im Jahr 2020 aus dem Ausland nach Deutschland. Der Höchstwert lag im Jahr 2015 bei 2136954 Menschen, in den vergangenen 30 Jahren lag die Zahl stets über 660000. Nur in 2 der 30 Jahre zogen mehr Menschen aus Deutschland fort als ankamen. Deutschland, Einwanderungsland.

vom Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) geförderten Projekt »InBewegung« nachgegangen. Die Forscher wendeten sich an den Sportkreis Frankfurt, der Dachorganisation von über 400 Frankfurter Sportvereinen. Sie erhoben Survey-Daten, machten teilnehmende Beobachtungen und führten Interviews mit Hunderten Sportvorständen, Vereinsmitgliedern, Nicht-Vereinsmitgliedern und Geflüchteten.

Und wie lautet nun, da das Projekt gerade zu Ende gegangen ist, das Fazit: Gelingt im Sportkreis Frankfurt Integration? Michael Fingerle, Professor für Erziehungswissenschaften, Leiter des Arbeitsbereiches Förderdiagnostik und Evaluation am Institut

seien zunächst mal unabhängig, man habe keinen Top-Down-Zugriff. »Außerdem läuft alles über das Ehrenamt«, sagt Fingerle. »Oft sind es einige wenige, die viel leisten. Und da kann man nicht unbedingt hingehen und sagen, macht mal bitte noch dieses oder jenes zusätzlich.«

Ein Fall ist Fingerle besonders im Gedächtnis hängen geblieben. »Wir hatten da einen Verein, da gab es eine sehr engagierte Trainerin, und die wollte auch einiges zur Integration machen«, erzählt er. »So hat sie ein Sportangebot für minderjährige Geflüchtete gestartet.« Ganz schnell sei es dann aber nicht mehr mit der einen Trainingsstunde in der Woche getan gewesen. Die Trainerin habe Kontakte und Beziehungen zu den Kindern aufgebaut und sei nach und nach zu deren Vermittlerin für die deutsche Gesellschaft geworden. Die Kinder hätten sich mit Fragen zur Aufenthaltsberechtigung oder zur Unterbringung an sie gewandt, sie hätten nachts angerufen und erzählt, dass es ihnen gerade schlecht gehe. »So etwas können Sie nicht von Leuten verlangen«, sagt Fingerle, »da können Sie nur heilfroh sein, wenn sich hier und da jemand findet, der sowas macht.«

Für mehr Angebote bräuchten die Vereine, in denen es mehr solcher Menschen geben könnte, also mehr Ehrenamtler und mehr Freiwillige. Wie der Sportkreis als Dachverband da helfen kann, dafür haben Fingerle und seine Kolleginnen und Kollegen aus ihren Ergebnissen drei Handlungsempfehlungen formuliert:

- Unterstützung der Arbeit des Managements in den Vereinen
- Engagement des Sportkreises in Richtung der Entwicklung eines kommunalen Integrationsmanagements sowie der Entwicklung einer Strategie zur Förderung ehrenamtlichen Engagements gemeinsam mit den einschlägigen Einrichtungen in der Stadt Frankfurt
- Aktivitäten zur Akquise von Ressourcen, mit denen der Sportkreis die einzelnen Vereine in ihren Integrationsbemühungen unterstützen kann.

ZUR PERSON



Prof. Dr. Michael Fingerle, Jahrgang 1962, studierte Psychologie und schloss sein Studium 1991 mit dem Diplom ab. Als Wissenschaftlicher Mitarbeiter arbeitete er an den Universitäten Mannheim, Leipzig und Halle und promovierte an der Universität Jena zum Dr. Phil. Im Jahr 2004 wurde er zum Professor am Institut für Sonderpädagogik (Fachbereich 4, Erziehungswissenschaften) an der Goethe-Universität Frankfurt berufen.

m.fingerle@em.uni-frankfurt.de

Angesichts dessen erscheint es umso wichtiger, dass es hierzulande ausreichend Angebote für Zuzügler gibt, mit der hiesigen Bevölkerung in Kontakt zu kommen und neue Freundschaften zu knüpfen. Und kaum etwas steht so sehr unter Verdacht, Integration zu ermöglichen, wie der Sport. Beim Kicken, Boxen, Schwimmen, Rennen, Fahrradfahren oder Kegeln sind alle gleich und man kommt auch ohne viele Worte aus. Doch ist es wirklich so einfach? Wer nach Deutschland kommt, der gehe in einen Sportverein und gut ist's?

Sport kann helfen

Den Antworten auf diese Frage sind in den vergangenen zwei Jahren Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler der Goethe-Universität und der Universität Hildesheim im

für Sonderpädagogik der Goethe-Universität und einer der Leiter des »InBewegung«-Projekts, antwortet auf diese Frage: mit einem lauten Lachen. Eine große, eine zu große Frage. »Das ist eine Frage, die man nicht mit ja oder nein beantworten kann«, sagt Fingerle. Er sagt aber auch: »Der Sport kann durchaus dabei helfen, Integration zu schaffen. Ob er das aber tut, das hängt immer von den Bedingungen vor Ort ab, und mit Bedingungen meine ich vor allem die Ressourcen.« Ressourcen, das sind in diesem Fall zwei Dinge: Geld und Menschen.

Persönliches Engagement

»Der Sportkreis Frankfurt hat sich Integration schon vor vielen, vielen Jahren auf die Fahnen geschrieben«, sagt Fingerle. Trotzdem sei es nicht immer einfach, denn Vereine

Der Autor

Jan Schwenkenbecher (siehe Seite 37)
jan.schwenkenbecher@posteo.org



Foto: Sportkreis Frankfurt/Mohamed El-Hamdaoui

Das Foto der beiden jugendlichen Fußballspieler ist im Rahmen des Projekts »Frankfurter Bolzplatzliga F43+« entstanden. Der Sportkreis Frankfurt fördert damit Sport, Bewegung und soziales Lernen Heranwachsender und arbeitet mit Trägern der Kinder- und Jugendarbeit sowie mit Unterkünften für Geflüchtete zusammen, die sich mit Teams beteiligen.



Der Kampf gegen den Krampf

Sportmediziner zeigt:
Gezieltes Training mit Elektroimpulsen
erhöht die Reizschwelle

von Anne Hardy

Die meisten Menschen vertrauen bei Muskelkrämpfen auf Magnesium. Aber die wissenschaftliche Beweislage dafür ist dünn – und die Theorie, dass Krämpfe durch einen Elektrolytmangel entstehen, mehr als 100 Jahre alt. Sportmediziner Michael Behringer hat bei seiner Suche nach den Ursachen für Krämpfe eine interessante Entdeckung gemacht: Künstlich ausgelöste Krämpfe können die Krampfneigung deutlich reduzieren.

Es war ein abruptes Ende für Spitzenbasketballspieler LeBron James, als er wegen plötzlicher Wadenkrämpfe bei den NBA Finals 2014 vom Spielfeld getragen werden musste. Wadenkrämpfe sind unter Leistungssportlern besonders bei Triathleten und Marathonläufern verbreitet. Sie haben schon manchen Sieg vereitelt. Vor allem bei den olympischen Wettkämpfen ist dies für die Athleten nach vier Jahren hartem Training eine bittere Enttäuschung.

Aber nicht nur Sportler sind von Krämpfen geplagt. Manche Menschen haben nachts häufige und äußerst schmerzhaft Wadenkrämpfe, die sie zwingen aufzustehen, um das Bein zu dehnen und zu massieren. »Die Kombination von Schmerz und Schlafmangel führt in schweren Fällen manchmal sogar zu Suizidgedanken«, sagt Prof. Michael Behringer, Sportmediziner an der Goethe-Universität.

Besonders anfällig für Krämpfe sind zweigelenkige Muskeln, wie ein Teil der Wadenmuskulatur. Sie verläuft über das Knie- und Sprunggelenk und kann daher bei bestimmten Gelenkstellungen stärker verkürzt werden. Etwa nachts bei angewinkeltem Bein, wenn die Fußspitze von der Bettdecke nach unten gedrückt wird. Behringer erzählt von einem Lastenwagenfahrer, der seit dem zehnten Lebensjahr an Krämpfen in den Oberschenkeln leidet. Inzwischen hat sich die Häufigkeit und Intensität so gesteigert, dass er berufsunfähig ist. Auch das in diesen Fällen meist verschriebene Medikament auf Chinin-Basis hat ihm nicht geholfen.

Magnesium: Wirkung bei Sportlern nicht erforscht

Im Breitensport ist Magnesium das beliebteste Mittel gegen Krämpfe. Nach dem Joggen löst die Feierabendsportlerin eine Brausetablette in Wasser auf, um den Elektrolytmangel durch Schwitzen auszugleichen. Sie folgt damit einer vor mehr als 100 Jahren aufgestellten Theorie. Bergarbeiter in den USA (?) litten bei ihrer harten und schweißtreibenden Arbeit unter Tage häufig unter Krämpfen. Blutuntersuchungen zeigten einen Elektrolytmangel, das war der Ursprung der Theorie.

»Aber seither ist in der Forschung wenig passiert, da es nicht möglich war, Krämpfe im Labor auszulösen und zu untersuchen«, bedauert Behringer. Die Evidenz dafür, dass Magnesium Krämpfen vorbeugt oder sie lindert, ist laut einer Metaanalyse, die 2020 in der Cochrane Database publiziert wurde, äußerst gering. Allerdings bezogen sich die meisten Studien auf spontane Krämpfe bei Menschen zwischen 60 und 70 Jahren. Zu nächtlichen Wadenkrämpfen in der Schwangerschaft war die Studienlage nicht eindeutig. Und randomisierte, kontrollierte Studien (RCTs) zur Magnesiumwirkung bei Sportlern fehlen gänzlich.

Krämpfe durch Ermüdung?

1997 veröffentlichten Martin Schwellnus und Kollegen von der University of Cape Town Medical School in Südafrika eine neue Hypothese, die sportassoziierte Krämpfe durch eine Ermüdung des Muskels erklärt. Die Ermüdung habe zur Folge, dass die Regelkreise, mit denen das Nervensystem Spannung und Länge des Muskels reguliert, aus dem Gleichgewicht geraten. Bei Übermüdung dominieren die aktivierenden Signale aus dem Rückenmark über die hemmenden.

Aktuell spalten sich die Krampfforscher in zwei Lager: die Anhänger der Elektrolytheorie und die der Schwellnus-Deregulationstheorie. Behringer versucht eine Brücke zu schlagen, indem er den Flüssigkeitsverlust als gemeinsames Element beider Theorien annimmt. Dafür spreche einerseits, dass Menschen im Sommer häufiger zu Krämpfen neigen. So konnte in einer Untersuchung gezeigt werden, dass bei Google das Stichwort »Wadenkrämpfe« in den heißen Monaten weitaus häufiger eingegeben wird. Schwitzen durch körperliche Aktivität bei feuchtwarmem Wetter scheint also die Krampfneigung zu verstärken. »Das konnte man auch in einem besonders heißen Sommer bei den Wimbledonspielen sehen«, sagt der Forscher. »Damals mussten ungewöhnlich viele Spiele wegen Krämpfen abgebrochen werden.«

Andererseits spricht für die Schwellnus-Theorie des gestörten Regelkreises zwischen Muskelfasern und Rückenmark, dass ein Wadenkrampf sich schnell durch Dehnung löst, indem man die Zehenspitzen anzieht (Dorsal-extension). Außerdem lassen sich Muskelkrämpfe nur schwer auslösen, wenn die Reizleitung zwischen Muskel und Rückenmark durch ein lokales Betäubungsmittel vorübergehend ausschaltet wird.

Flüssigkeitsmangel und erniedrigte Reizschwelle

Flüssigkeitsverlust verstärkt nach Behringer die sogenannte Deregulation. Das Zusammenspiel von Nervenimpulsen, die Muskelspannung und -entspannung steuern, ist gestört, weil der Muskel bei Flüssigkeitsmangel an Volumen verliert. Das wiederum, so die aktuelle Theorie, erhöhe die Wahrscheinlichkeit für spontane periphere, also aus der Umgebung des Nervs kommende Aktivierungen. Der Muskel zieht sich noch weiter zusammen. Wird er nun durch Anspannung noch weiter verkürzt, nähert er sich gefährlich

AUF DEN PUNKT GEBRACHT

- Zu Ursache und Therapie von Muskelkrämpfen gibt es erstaunlich wenig harte wissenschaftliche Fakten.
- Aktuell steht die Elektrolytheorie der nervlichen Deregulationstheorie gegenüber.
- Das von Prof. Michael Behringer entwickelte Krampftraining erhöht die Krampfschwelle, ist aber nicht für leichtere Fälle geeignet, da es mit starken Schmerzen einhergeht.

Auch Superstars wie der amerikanische Basketballspieler LeBron James sind vor Krämpfen nicht gefeit. Immer wieder hat er seine Mannschaft unter Schmerzen zum Sieg geführt – musste das Spiel manchmal aber auch abbrechen.

der Kontraktion in maximaler Verkürzung, die einen Krampf auslöst. Die Ursache dafür liegt nach aktuellem Verständnis in einem Ungleichgewicht zwischen aktivierenden und hemmenden Nervenimpulsen aus der Muskulatur zum Rückenmark. Auch bei milden Temperaturen kann es zu Krämpfen kommen, wenn der Muskel ermüdet und damit »reizanfälliger« ist, denn auch dann fällt das hemmende Feedback aus der Muskulatur schwach aus und ermöglicht damit den Krampf.

Im Labor werden Muskelkrämpfe durch die steigende Frequenz elektrischer Impulse ausgelöst. Durch dieses »Training« soll die Reizschwelle für Krämpfe allmählich erhöht werden, der Sportler erfährt Erleichterung.



Diese Überlegungen führten Behringer dazu, die Muskelspannung bei Menschen mit erhöhter Krampfneigung zu untersuchen. Die Versuchsanordnung ist denkbar einfach: Man bittet den Probanden, mit herabbaumelnden Beinen auf einer Liege zu sitzen und klebt auf eines seiner Beine zwei Elektroden. Diese werden unter Wechselstrom gesetzt, wodurch der Muskel ähnlich stimuliert wird wie durch sportliche Aktivität oder körperliche Arbeit – nur eben in maximaler Verkürzung. Nun wird die Frequenz bei gleichbleibendem Strom allmählich erhöht, bis der Muskel anfängt zu krampfen. Die Krampfschwelle definieren die Sportwissenschaftler als die Frequenz, die gerade ausreicht, um einen Krampf auszulösen.

Krampftraining nur bei schwerer Krampfneigung

Bei den Messungen zeigte sich, dass Menschen mit erhöhter Krampfneigung auch einen geringeren Schwellenwert haben. Offenbar hat ihr Muskel eine erhöhte Ruhespannung und kann daher leichter an die Krampfgrenze gebracht werden. Behringer machte dabei eine überraschende Entdeckung: Bei wiederholten Messungen erhöhte sich der Schwellenwert seiner Probanden von Woche zu Woche, bis überhaupt keine künstlichen Krämpfe mehr ausgelöst werden konnten. »Wir konnten zeigen, dass die Muskulatur durch das Krampftraining wächst«, erklärt Behringer. »Viel spannender war jedoch die Beobachtung der steigenden Krampfschwelle, was bisher durch keine andere Methode erreicht werden konnte.«

Behringer betont, dass sein »Krampftraining« derzeit nur im Rahmen von Studien untersucht wird. Und selbst wenn es in die klinische Praxis gehen sollte, wird es Menschen mit schweren Krämpfen vorbehalten bleiben. »Man sollte nicht unterschätzen, wie schmerzhaft die induzierten Krämpfe sind«, sagt er. Bei der Anwendung denkt er an Fälle wie den eines ehemaligen Stabhochspringers, der durch seine Krampfneigung überhaupt keinen Sport mehr treiben konnte. Oder an Menschen, die aufgrund einer Verengung des Spinalkanals oder Bandscheibenvorfalles vermehrt Krämpfe erleiden. Mit einer Studie konnte er zeigen, dass deren Krämpfe durch die Behandlung deutlich verringert wurden.

Scharfer Gewürzcocktail des Nobelpreisträgers

Kürzlich untersuchte Behringer die unter Leistungssportlern in den USA verbreiteten »Hotshots«. Sie wurden 2016 von Nobelpreisträger Rod MacKinnon entwickelt, um Krämpfe und Muskelkater zu verhindern. Der Gründungsmythos auf der Webseite <https://teamhotshot.com/founders> besagt, dass der Neurowissenschaftler und Ausdauersportler mit seinem Freund Dr. Bruce Bean beim Kajakfahren auf hoher See von starken Krämpfen überwältigt wurde. Beide konnten ihre Kajaks kaum in den Wellen halten. Offenbar rettete sich MacKinnon aus dieser gefährlichen Situation, indem er den Essigsud von eingelegten Gurken trank – vermutlich mit dem Gedanken, Elektrolyte aufzufüllen. Doch die Krämpfe ließen wesentlich schneller als erwartet nach.

Wieder in ihrem Institut, suchten die beiden Neurowissenschaftler nach einer Erklärung. Sie entdeckten, dass der saure Sud mit Gewürzen wie Pfefferkörnern und Senfsamen sensorische Nervenbahnen vom Mund bis zum Magen stimuliert. Diese senden Signale an das Rückenmark, was wiederum erregende Impulse an die Skelettmuskeln dämpft. »Die Wahrheit ist, dass

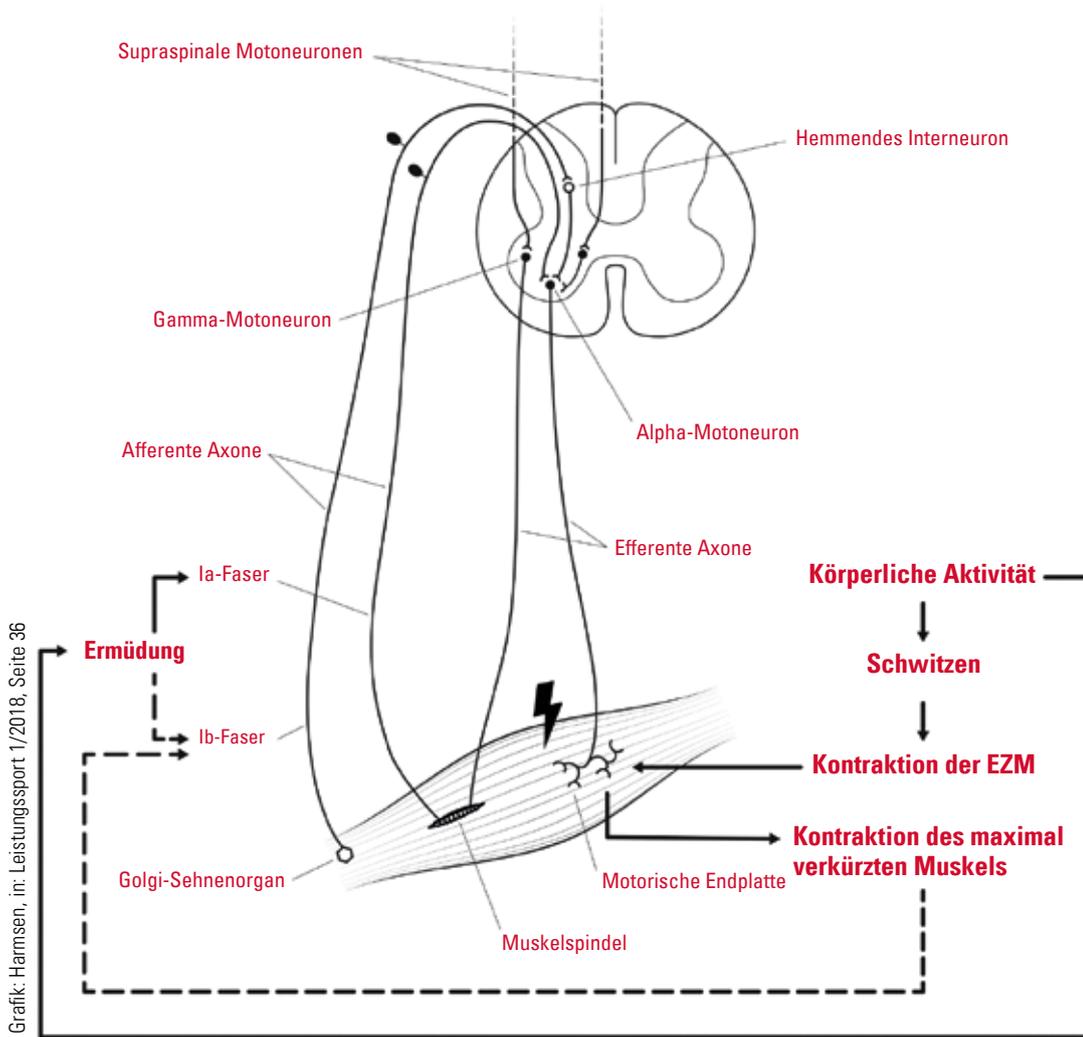
ZUR PERSON



Professor Dr. Dr. Michael Behringer, Jahrgang 1978, hat Humanmedizin an der Heinrich-Heine-Universität Düsseldorf studiert. Er ist seit 2017 Leiter des Arbeitsbereichs Sportmedizin und Leistungsphysiologie an der Goethe-Universität. Zuvor war er zehn Jahre lang Leiter der Muskelforschungsgruppe am Institut für Trainingswissenschaft und Sportinformatik der Deutschen Sporthochschule in Köln. Parallel dazu arbeitete er am Deutschen Forschungszentrum für Leistungssport (Momentum) in Köln.

behringer@sport.uni-frankfurt.de

KRÄMPFE BEI ERMÜDUNG UND HITZE



Muskuläre Ermüdung und Dehydration treten unter starker körperlicher Belastung häufig gemeinsam auf und führen entsprechend der aktuellen Theorien über unterschiedliche Mechanismen zu Krämpfen. Bei der Ermüdung kommt es zu einem Ungleichgewicht der hemmenden und aktivierenden Signale zugunsten Letzterer. Ein starker Volumenverlust durch extensives Schwitzen kann über eine mechanische Deformation der Nervenendungen eine Kontraktion des Muskels bedingen, wodurch der Muskel in die maximale Verkürzung kommt. In dieser Position wird das ermüdungsbedingte Ungleichgewicht zwischen Hemmung und Aktivierung noch verstärkt.

Grafik: Harnsen, in: Leistungssport 1/2018, Seite 36

Krämpfe durch Fehlzündungen der Nerven entstehen«, heißt es auf der Webseite. Oder noch einfacher: »Es ist der Nerv, nicht der Muskel.«

»Hotshots« auf dem Prüfstand

Um die Rezeptoren in Mund und Magen noch effektiver zu reizen, wählten MacKinnon und Bean als Inhaltsstoffe für ihre »Hotshots« die noch schärferen Inhaltsstoffe von Ingwer, Zimt und extrem scharfen Chilischoten (Jalapeño). Deren Wirkstoff, Capsaicin, ist auch in Pfeffersprays enthalten. »Ich bezweifle, dass es für den Magen-Darm-Trakt eines Marathonläufers bekömmlich ist, so einen Cocktail an der Startlinie zu trinken«, kommentiert Behringer.

Doch können »Hotshots« wenigstens Muskelkrämpfe verhindern? Behringer und seine Kollegen haben dies mithilfe ihrer Versuchsanordnung untersucht. Sie konnten nur einen geringen Effekt feststellen, der nach wenigen Stunden verebbte. Im Vergleich dazu hält die Wirkung des Krampftrainings über Wochen und Monate an.

Für Behringer gibt es noch viele offene Fragen. So schließt er nicht aus, dass Elektrolytverluste die Krampfneigung beeinflussen. Die

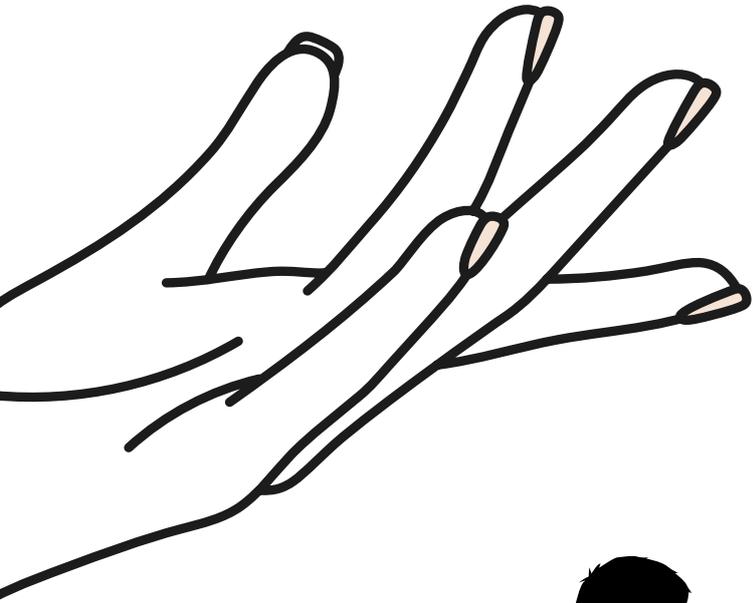
Bedeutung von Magnesium bei der Behandlung von Krämpfen nimmt aktuell sein Doktorand Christoph Skutschik unter die Lupe. Magnesium ist an mehr als 300 enzymatischen Reaktionen im Körper beteiligt. Seine hemmende Wirkung auf das Nervensystem ist bekannt und bei extremem Mangel wurden in Studien Krampfanfälle beobachtet, die nach intravenöser Gabe von Magnesium wieder verschwanden. »Der Zusammenhang von Magnesiummangel und Krämpfen ist also nicht aus der Luft gegriffen«, sagt der Sportwissenschaftler, »die Frage ist eher, ob im Sport eine Substitution von Magnesium einen zusätzlichen schützenden Effekt hat.« Bis die Datenlage klarer ist, meint er, könne eine geringe Magnesiumzufuhr zumindest nicht schaden. Besser wäre es jedoch, den Magnesiumbedarf durch eine ausgewogene, magnesiumreiche Ernährung mit Vollkorngetreide, grünem Blattgemüse, Nüssen, Saaten und Hülsenfrüchten zu decken. Für Menschen mit »gewöhnlichen« Krämpfen, die ab und zu beim Sport oder heißem Wetter auftreten, ist nach Behringers Erfahrung die Dehnung nach wie vor die effektivste Strategie. ●



Die Autorin

Dr. Anne Hardy, Jahrgang 1965, ist Diplom-Physikerin und promovierte Medizin- und Technik-historikerin. Sie arbeitet als freie Wissenschaftsjournalistin in Frankfurt.

anne.hardy@t-online.de



Bewegung
mit



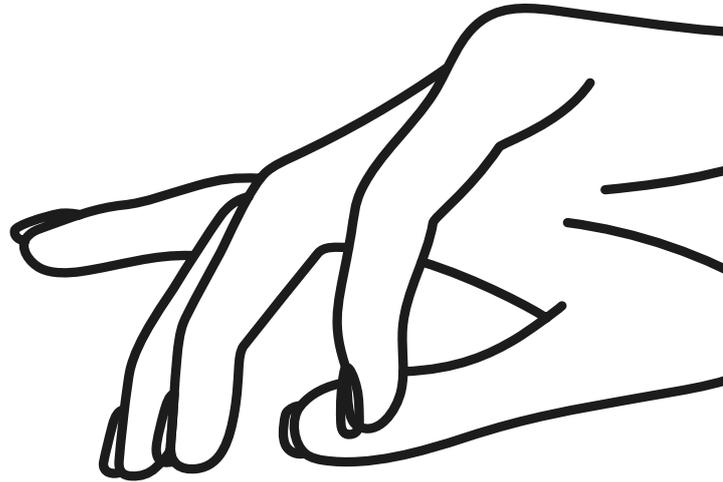
BEDEUTUNG



Mit Händen Sprache formen

Wie Gestik und Mimik die Bedeutung von Wörtern und Sätzen unterstreichen, ergänzen und modifizieren können

von Anke Sauter



Kommunikation erfordert nicht nur Mund, Stimmbänder und Atem. Auch unsere Hände und unsere Gesichtsmuskulatur tragen viel dazu bei, dass wir uns verständlich machen oder unseren Mitteilungen eine bestimmte Richtung geben können. Doch wie funktioniert das Zusammenspiel zwischen Lautsprache und Motorik der Hände? Ein neues Schwerpunktprogramm will die Semantik von Mimik und Gestik in Laut- und Gebärdensprachen untersuchen. Die Einzelprojekte starten im kommenden Jahr.

Fahren Sie die nächste Straße rechts (*zeigt nach rechts*), dann die dritte links (*zeigt nach links*), bis Sie an einen Kreisel kommen (*beschreibt mit der Hand einen Kreis*). Auf der rechten Seite sehen Sie eine Einfahrt (*beschreibt mit der Hand einen aufrecht stehenden Bogen*), da geht es zum Museum.« – Man stelle sich diese Wegbeschreibung mal mit, mal ohne begleitende Gesten vor. Schnell wird deutlich: Gesten gehören zur Alltagskommunikation, sie erleichtern das Übermitteln von Informationen, indem sie der akustischen Ebene einen visuellen Kanal hinzufügen. Wer eine solche Wegbeschreibung erhält, kann sich vor dem inneren Auge mehr vorstellen und kommt nun wahrscheinlich leichter zum Ziel.

Ein Werkzeugkasten für die theoretische Linguistik

Doch wie funktioniert die Kommunikationsebene der Gesten? Wo und wann haben wir diese »Sprache« erlernt? Wie entscheiden wir, ob, wann und wie wir gestikulieren? Und wie lässt sich die Semantik der Gesten in ein System bringen, das sich verallgemeinern ließe? Bis vor

Kurzem wurden visuelle Bedeutungsbeiträge nicht in der formalen Linguistik behandelt, sondern vornehmlich in den Kommunikationswissenschaften. Auch Rhetorik, Semiotik und Psychologie kennen die Gestik schon lange als Gegenstand ihrer Betrachtungen. Nicht zu vergessen die längst etablierte Forschung zur Gebärdensprache.

In der theoretischen Linguistik jedoch sind Form und Funktion von Gesten bislang kaum untersucht. Das soll sich nun ändern: Ein DFG-Schwerpunktprogramm unter Federführung der Goethe-Universität will die bestehenden Erkenntnisse aus verschiedenen Fächern zusammenführen und mit der Linguistik vernetzen – wobei es nicht nur um Gestik geht, sondern auch um andere visuelle Formen der Bedeutungsübermittlung. »Das Thema nimmt nun auch in meiner Disziplin Fahrt auf«, freut sich Cornelia Ebert, Professorin für Semantik an der Goethe-Universität, die das Schwerpunktprogramm zusammen mit dem Gebärdensprachforscher Prof. Markus Steinbach von der Universität Göttingen beantragt hat und für dessen Koordination zuständig sein wird.



Gesten liefern harte Fakten

Die visuellen Kommunikationsformen, auf die das Schwerpunktprogramm fokussieren wird, sind außer der Gestik die Gebärdensprachen, die Tierkommunikation, didaktische und klinische Aspekte, die Mensch-Maschine-Interaktion und die visuellen Studien, also die Kommunikation mit Bildern und Filmen. Zu jedem Teilthema wurden spannende Projekte beantragt – auch drei aus der Goethe-Universität. Im März 2022 entscheidet ein DFG-Komitee, welche von den 46 Anträgen tatsächlich auch gefördert werden. Die Förderdauer beträgt sechs Jahre, zur Verfügung stehen zwölf Millionen Euro.

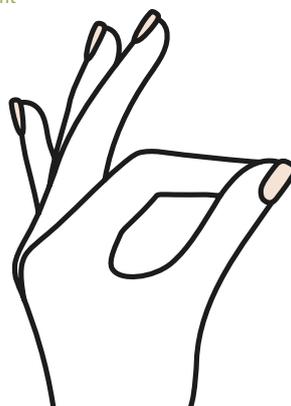
Als Semantikerin, die aus der Computerlinguistik kommt, interessiert sich Cornelia Ebert vor allem dafür, wie sich die Bedeutung einer Äußerung aus Geste und Sprache zusammensetzt und wie man dies in einem Modell abbilden kann. Mithilfe der bereits vorhandenen Expertise, die das Schwerpunktprogramm versammelt, soll die theoretische Linguistik »einen ganz großen Schritt weiterkommen«. Ziel sei ein Werkzeugkasten für die theoretische Linguistik, der hilft, das Phänomen der Gestik besser erfassen zu können und daraus eine Theorie abzuleiten. Bislang fehle es schlicht am »formalen Apparat«.

Am Institut für Kognitionswissenschaft in Osnabrück hat Ebert untersucht, wie sich die zeitliche Abfolge von Geste und Sprache – Ebert nennt das »Alignierung« – auf die Bedeutung auswirkt. »Dass Geste und Sprache zeitlich aligniert sind, wissen wir spätestens seit den 1960er Jahren«, sagt Ebert. Sie sieht in Gesten keineswegs in erster Linie einen Ausdruck von Gefühlen, denn sie transportierten häufig »harte Fakten« – wie im obigen Beispiel einer Wegbeschreibung.

Gesten strukturieren und akzentuieren

Die Wegbeschreibung ist auch ein gutes Beispiel dafür, dass Gesten von sehr unterschiedlichem Charakter sein können: Manche sind deiktisch, also zeigend; diese Kategorie bildet sich beim kindlichen Spracherwerb sehr früh heraus. »Sobald ein Kind auf etwas zeigt und sagt ›da!‹, geht es so richtig los«, sagt Ebert. Erwachsene nutzen diese Art von Geste auch in abstraktem Sinne und zeigen auf Gegenstände oder in Richtungen, die im Augenblick gar nicht konkret vorhanden sind. Gesten wiederum, die in ihrer

Welchen Unterschied macht es, ob die Erzählerin mit ihren Gesten die Rolle des Betrachters oder des Akteurs einnimmt? Mithilfe der Schauspielerin Magdalena Schmitz werden Studierende auf die Wirkung der visuellen Kommunikation befragt.



Bedeutung fest verankert sind wie ein Lexem, nennt man konventionalisierte Gesten. In diese Kategorie gehören etwa Beleidigungsgesten wie der »Stinkefinger« oder das Aneinanderreiben von Zeigefinger, Mittelfinger und Daumen mit der Bedeutung »Geld«. Von ikonischen Gesten spricht man indes, wenn eine Handlung oder ein Gegenstand nachgeahmt wird – im Beispiel der Wegbeschreibung ist das beim Kreisel und beim Torbogen der Fall. Und dann gibt es schließlich noch Gesten mit metaphorischer Bedeutung und solche, die die gesprochene Sprache rhythmisieren oder Akzente setzen sollen. Allen Gestentypen ist gemeinsam, dass sie sprachliche Äußerungen akzentuieren, modifizieren und strukturieren können, manche fügen auch neue

AUF DEN PUNKT GEBRACHT

- Kommunikation besteht nicht nur aus gesprochener oder geschriebener Sprache. Auch Mimik und Gestik spielen eine wichtige Rolle bei der Informationsübermittlung.
- Sprachbegleitende Gesten akzentuieren, modifizieren oder strukturieren den Bedeutungsgehalt des Gesprochenen und leisten so einen wichtigen Beitrag zur Verständigung.
- In der theoretischen Linguistik sind Form und Funktion von Gesten bislang kaum untersucht. Ein DFG-Schwerpunktprogramm unter Federführung der Goethe-Universität soll diese Forschungslücke nun schließen helfen.

Informationen hinzu. Sie lenken den Blick auf bestimmte Komponenten der Äußerung und können diese mitunter präzisieren – wie im Beispiel der Wegbeschreibung, wo wir erfahren, dass es sich bei der Einfahrt offenbar um einen Torbogen handelt. Nicht möglich ist jedoch, die Aussage des Gesprochenen rein mit einer Geste zu negieren. Die strukturierende Funktion von Gesten lässt sich wohl am ehesten mit den prosodischen Möglichkeiten der gesprochenen Sprache wie Betonung, Lautstärke und Tempo vergleichen.

Wenn Gesten und Worte unterschiedlich kommunizieren

In ihrem eigenen SPP-Projekt, das sie gemeinsam mit Dr. Stefan Hinterwimmer von der bergischen Universität Wuppertal beantragt hat, geht es um die erzählerische Perspektive, die Gesten in die Kommunikation einbringen: Wie machen Gesten deutlich, ob der Sprecher in der Beobachter-



GESTENFORSCHUNG AN DER GOETHE-UNIVERSITÄT

Wie kommunizieren wir mit unseren Augenbrauen? Welche Rolle spielen Gesten beim Lügen und Täuschen?

Und wie behelfen sich Kinder mit Gesten, um ihr Gegenüber zu überzeugen? Fast 50 Projektanträge wurden für das Schwerpunktprogramm »Visuelle Kommunikation« eingereicht. Auch an der Goethe-Universität wird in ganz unterschiedlichen Disziplinen zu visueller Kommunikation geforscht.

Der Linguist Prof. Frank Kügler nimmt gemeinsam mit einer Kollegin in Barcelona das Zusammenspiel von Intonation und Gestik in den Blick: In der gesprochenen Sprache wird die Übermittlung von Informationen begleitet von melodischen (prosodischen) Mitteln, eng verbunden mit sprachbegleitenden Gesten. Wie aber werden melodische und gestische Mittel bei der Informationsübertragung jeweils koordiniert, und wie trägt dies zur (gelungenen) Kommunikation bei?

Dr. Andy Lücking und Prof. Alexander Mehler vom Institut für Informatik wiederum wollen die Bedeutung von Gesten mithilfe Künstlicher Intelligenz erfassen. Sie bringen Virtual Reality Tools zum Einsatz, um ein Korpus multimodaler Dialoge zu erstellen. Mittels computerlinguistischer Verfahren der distributionellen Semantik und des Deep Learning sollen auf dieser empiri-

rolle (Observer Viewpoint) oder in der Rolle des Beteiligten (Character Viewpoint) ist? Berichtet eine Person über ein Geschehen ohne eigene Beteiligung, wird der Raum vor ihrem Körper zur Bühne, die Hände sind die Schauspieler. Ist der Erzähler selbst Akteur, so spielen seine Hände seine Hände, er selbst schlüpft pantomimisch in die Rolle des Akteurs. »Die gestische Perspektive deckt sich nicht immer mit der sprachlichen Erzählung. Wir wollen herausfinden, wie das auf den Zuhörer wirkt und warum das nicht unbedingt kongruent sein muss«, beschreibt Ebert ihr Projekt. In einem Experiment spielt eine Schauspielerin unterschiedliche Varianten vor. »Überraschend war: Die Probanden stören sich nicht daran, wenn sprachliche und gestische Perspektive voneinander abweichen«, berichtet Ebert. Warum das so ist, darüber soll das Projekt Aufschluss geben.

Die Schwerpunktprogramme der DFG sind darauf ausgelegt, wissenschaftliche Grundlagen besonders aktueller oder sich gerade bildender Forschungsgebiete zu untersuchen, wobei Interdisziplinarität eine große Rolle spielt. Im SPP »Visuelle Kommunikation« haben sich so unterschiedliche Disziplinen wie Neurologie, Didaktik, Informatik und eben Linguistik zusammengetan.

schon Grundlage Assoziationen und Semantisierungen von visuellen Kommunikationsmitteln erzielt werden, sowohl untereinander als auch in Beziehung zu ihrem sprachlichen Kontext. Damit könnten Dialoge künftig ganzheitlicher analysiert und zum Beispiel multimodal übersetzt werden.

Die Rolle multimodaler Äußerungen in mathematischen Lernsituationen der Grundschule steht im Fokus der Forschungen von Rose Vogel, Professorin für Didaktik der Mathematik und der Informatik, und ihren Mitarbeiterinnen Melanie Huth und Lara Billion. Gesten ebenso wie Handlungen am Material ermöglichen das Mathematiklernen als sichtbare Tätigkeit. Insbesondere interessieren sich die Forscherinnen für Schnittstellen und Zusammenspiel verschiedener Modi – auch mit Blick auf digitale Medien.

Können sich Kinder neue Wörter besser merken, wenn Sie beim Lernen ikonische Gesten ausführen, also Gesten, die den entsprechenden Begriff bildhaft veranschaulichen? Das untersucht die Entwicklungspsychologin und Neurowissenschaftlerin Dr. Elena Galeano-Keiner am Leibniz-Institut für Bildungsforschung und Bildungsinformation DIPF. Das Projekt knüpft an Vorarbeiten von Prof. Cornelia Ebert und Prof. Garvin Brod an.

So können bereits vorhandene Erkenntnisse ausgetauscht und nutzbar gemacht werden – etwa das Wissen darum, wie sich Sprache und Gestik nach einer Hirnschädigung verändern: Es gibt zwar Menschen, die nicht mehr fehlerfrei sprechen können, die ikonischen Gesten aber nach wie vor beherrschen – und umgekehrt. In der Regel jedoch erfolgt die Wahrnehmung von Sprache und Gestik allerdings über ähnliche Mechanismen, was dazu führt, dass Menschen sich oft nicht erinnern können, ob sie eine Information via Geste oder via Sprache erhalten haben. Interessant ist auch, dass blinde Kinder ebenfalls über gewisse Gesten kommunizieren, unabhängig davon, ob ihr Gegenüber sehen kann oder nicht.

Dass vor allem Südländer »mit Händen und Füßen« sprechen, wie der Volksmund sagt, das ist jedenfalls eindeutig ein Klischee. Zwar gibt es zwischen den Sprachgemeinschaften durchaus Unterschiede, was bestimmte Gesten bedeuten, ja, manchmal haben auch Familien ein innerfamiliäres Repertoire. Das ist wissenschaftlich bereits belegt in einer Dissertation von 1998: Südländer kommunizieren nicht mehr mit den Händen als Leute aus dem Norden; allerdings machen sie dabei größere Bewegungen. ●

Literatur

Ebert, Cornelia, Hinterwimmer, Stefan: Free Indirect Discourse Meets Character Viewpoint Gestures: A Reconstruction of Davidson's Demonstration Account with Gesture Semantics, in: Proceedings of Linguistic Evidence 2020 (im Druck).

Ebert, Cornelia, Evert, Stefan, Wilmes, Katharina: Focus marking via gestures, in: Reich, Ingo, Horch, Eva & Pauly, Dennis (eds.): Proceedings of Sinn und Bedeutung 15, universaar, Saarbrücken 2011, 193–208.

Fricke, Ellen: Grammatik multimodal: Wie Wörter und Gesten zusammenwirken, de Gruyter, Berlin & Boston 2012.

Kendon, Adam: Gesticulation and speech: Two aspects of the process of utterance, in: The relationship of verbal and nonverbal communication, de Gruyter Mouton, The Hague 1980, 207–227.

McNeill, David: Hand and mind: What gestures reveal about thought, Chicago University Press, Chicago 1992.

Müller, Cornelia: Redebegleitende Gesten: Kulturgeschichte – Theorie – Sprachvergleich, Berlin Verlag, Berlin 1998.

Goldin-Meadow, S. & Brentari, D.: Gesture, sign, and language. The coming of age of sign language linguistics and gesture studies, Behavioral and Brain Sciences 40, 2017, 1–59.



Die Autorin

Dr. Anke Sauter, 53, ist Redakteurin von Forschung Frankfurt und nimmt beim Kommunizieren gern ihre Augenbrauen zu Hilfe.

sauter@pww.uni-frankfurt.de



Abb. 1. Das Fuchszimmer

Wie sich Wildtiere in freier Natur verhalten, das lässt sich am besten in der freien Natur beobachten? Der Ostberliner Ethologe Günter Tembrock (1918–2011) hat gezeigt, wie sich auch in künstlicher Umgebung valide Ergebnisse erzielen lassen – mithilfe des Mediums Film.

Wir hier leben noch immer unter unseren Füchsen (...)«, schrieb der Biologe Günter Tembrock im Sommer 1951 aus der Invalidenstraße in Berlin nach Basel. Empfänger des Briefs war der Schweizer Zoodirektor Heini Hediger, der sich als versierter Tierkenner und Buchautor einen Namen gemacht hatte. Sein Werk *Wildtiere in Gefangenschaft* (1942) gilt als Gründungswerk der modernen Tiergartenbiologie. Darin legt er dar, welche territorialen Besonderheiten einzelner Arten für eine erfolgreiche Haltung in künstlichen Lebensräumen zu berücksichtigen sind. Doch was führte Günter Tembrock an die Adresse eines Zoos?

Verhaltensforschung in der Großstadt

Tembrock hatte sich seit 1948 eine Art wissenschaftlichen Kleinstzoo erschaffen (siehe Abb. rechts und S. 50). Nach dem Zweiten Weltkrieg vor allem mit der Instandsetzung des Zoologischen Instituts sowie der Neuorganisation des Lehrbetriebs an der Humboldt-Universität betraut, hatte Tembrock schon früh eine eigene Forschungsstation im Sinn, die *Forschungsstätte für Tierpsychologie*. Dort wollte er nicht nur die Anatomie oder Physiologie, sondern auch das Verhalten von Tieren untersuchen. Wie verhält sich ein Tier in Relation zu anderen? Aus welchen evolutionsbiologischen Gründen finden arttypische Bewegungen statt? Sind diese fest im Verhaltensrepertoire eines jeden Tiers verankert, oder verlieren sie sich gar bei ausbleibender Aktivierung oder widernatürlicher Lebensweise? Hierin folgte Tembrock einem seit den 1930er Jahren erstarkenden Forschungszweig, der davon ausging, dass sich in der genauen Beobachtung lebendiger Tiere und unter möglichst natürlichen Bedingungen die angeborenen von den erlernten Komponenten des Verhaltens unterscheiden lassen müssten. Die moderne,

vergleichende Verhaltensforschung (Ethologie) verabschiedete sich so zumindest vordergründig von der auf Experimenten sowie Dressuren fußenden Praxis der früheren Tierpsychologie. Der Österreicher und spätere Nobelpreisträger Konrad Lorenz (1903–1989) wird für diese Forschungsrichtung die öffentlichkeitswirksamsten Bilder schaffen. Wie konnte nun Tembrocks zeitgleich stattfindende Forschung an Wildtieren inmitten der Großstadt reüssieren? Archive helfen, das Rätsel dieses Anachronismus zu lösen.

Der Verhaltensbiologe Günter Tembrock mit der Rotfuchsfähe »Fiffi« (unten). In seinem »Fuchszimmer« (Grundriss links) in der Forschungsstätte für Tierpsychologie zeichnete er akribisch die Bewegungen seiner Füchse auf. Ein wichtiges Werkzeug seiner Forschung waren Karteikästen, in denen er Fotografien zum Verhalten seiner Versuchstiere sammelte (links oben).



Nachlass als wichtige Quelle für Wissenschaftsgeschichte

Anhand des Forschungsnachlasses des Berliner Biologen wird deutlich, dass Günter Tembrock neben Fachliteratur auch paraakademische Quellen für seine Studien an Rotfüchsen zu Hilfe nahm: Er korrespondierte mit zahlreichen Direktoren zoologischer Gärten – wohl um aus deren Erfahrungswissen Anregungen für die

Pflege und Zähmung wilder Tiere zu gewinnen. In einzelnen Räumen im Westflügel des heutigen Naturkundemuseums Berlin hielten Tembrock und seine zwei Assistenten domestizierte Rotfüchse. Im Laufe von 20 Jahren sollen es etwa 60 Tiere gewesen sein. Von 1955 an konnte Tembrock für seine Tierhaltung ein Außengehege im Garten des Instituts beziehen. Sein Nachlass gibt also nicht nur Aufschluss über



Die Rotfüchse »Fiffi« und »Jupp« auf einem Fensterbrett im Westflügel des heutigen Museums für Naturkunde Berlin (oben). Um den Jungfuchs »Nedda«, einen sogenannten »Kaspar Hauser« (unten), kümmert sich eine Pflegerin.

AUF DEN PUNKT GEBRACHT

- In der Mitte des 20. Jahrhunderts florierte die vergleichende Verhaltensforschung als Fachrichtung der Biologie.
- Besonders die deutschsprachige Ethologie machte es sich zur Aufgabe, angeborene von erlernten Verhaltensformen zu unterscheiden, indem sie Bewegungen sehr genau beobachtete.
- Während vielerorts Kollegen dem neuen Ideal der Freilandforschung folgten, etablierte der ostdeutsche Biologe Günter Tembrock 1948 eine Forschungsstation mitten im Zentrum Berlins.
- Der Erfolg seiner Verhaltensstudien auf kleinstem Raum lässt sich vor allem durch Tembrocks weitreichende Nutzung von Forschungsmedien, wie Protokolle, Fotografien, Zeichnungen und Filme, erklären.
- Ein Blick in das Archiv zeigt jedoch, dass die in großer Zahl hergestellten Filme im Labor nur eine vorübergehende Erscheinung waren.
- Anstelle bewegter Bilder traten spätestens in den 1960er Jahren Grafiken und Statistiken, welche das Sehen von Bewegung für eine nunmehr datengestützte Verhaltensforschung ablösten, die uns heute alltäglich begegnen.

die in der Verhaltensbiologie der Nachkriegszeit verhandelten Thesen zur Erforschung des Tierverhaltens. Er liefert auch Erkenntnisse zur Wissenschaftsgeschichte, die sich gegenwärtig für die verstreuten Schauplätze und personellen Netzwerke früheren biologischen Wissens interessiert. Im Archiv des Biologen verbinden sich akademische und paraakademische Stimmen.

Auch das Wissen der Jäger bezog Tembrock in seine Verhaltensforschung im Arbeitszimmer ein. Über die Bibliothek des Zoologischen Instituts gelangte er an jagdkundliche Literatur wie das noch heute erscheinende Journal *Wild und Hund* und zog dessen Berichte zum Verhalten von Rotfüchsen zum Vergleich seiner Laborstudien heran. Aus Abenteuerberichten und Leistungsanzeigen der Wildtierexperten destillierte er Informationen über das in natürlichen Kontexten beobachtbare Verhalten. Seine Verhaltensbiologie verfuhr also im mehrfachen Sinne vergleichend: Erstens bezog Tembrock die Befunde von Fachkollegen zu anderen Arten wie Wolf, Schakal oder Dingo ein. Zweitens stellte er seinen Laborbeobachtungen schriftliche Belege von

Praktikern zur Seite. Ein solcher Praktiker, der Jäger und Jagdkundler Detlev Müller-Using, wird 1957 seine in der Zeitschrift *Der Zoologische Garten* veröffentlichte Habilitation zum Verhaltensrepertoire der Rotfuchse mit großem Lob versehen. Tembrock war es gelungen, in seinem nur 5 x 5 Meter großen »Fuchszimmer« (siehe Abb. S. 48 unten) valide Aussagen über das Verhalten der Wildtiere zu treffen. Wie konnte ihm dies gelingen?

Beobachtung durch exzessiven Mediengebrauch

Die Antwort findet sich in den Aufzeichnungen und Objekten zur Forschungspraxis des Biologen, die auf einen exzessiven Gebrauch von Medien schließen lassen. Dies ist symptomatisch für die Mitte des 20. Jahrhunderts wachsende Technisierung und Medialisierung der Verhaltensforschung, die sich mit Mitteln der Wissenschaftsgeschichte und der Medienwissenschaft interdisziplinär erforschen lässt. Die Ethologen machten es sich zur Aufgabe, ihre Forschungstiere möglichst lückenlos zu beobachten, um daraus schließlich Muster und Kausalitäten im Verhalten offenlegen zu können. Zeitgenossen berichten von Geduld, Ausdauer und Beobachtungsgabe – Eigenschaften, mit denen sich die Akteure gleichsam von den teils anekdotisch verfassten Forschungsberichten der nun verpönten Tierpsychologie der alten Schule zu distanzieren suchten.

Günter Tembrock überführte seine ausdauernde Beobachtungstätigkeit ebenso unermüdetlich in ein Protokoll. In täglich geführten Protokollbüchern brachte er noch so unscheinbare Verhaltenselemente zu Papier (siehe Abb. S. 52 oben). Und auch andere Medien standen im Dienste seiner weitreichenden Protokollierungstätigkeit. Eine Besonderheit ist die ethologische Bildkartei der *Forschungsstätte für Tierpsychologie*, die vier hölzerne Karteikästen umfasst (siehe Abb. S. 48). Sie enthält dicht an dicht gestellte Fotoabzüge zum Verhalten der Laborfuchse. Anhand von Beschriftungen und Nummerierungen auf der Rückseite der kleinformatigen Schwarz-Weiß-Fotografien lassen sich die Bildmotive einzelnen Forschungstieren und Beobachtungstagen, aber auch einer bestimmten Verhaltensform zuordnen. Die Kartei stellt eine Art Register tierischen Verhaltens dar, welches in der Praxis als Nachschlagewerk und Bildrepositorium diente.

Verhalten aus ökologischer Perspektive

Aus bildwissenschaftlicher Perspektive ist interessant, dass fotografische Dokumente hier stets vielseitige Verweise in sich tragen; sie waren nicht als Einzelbilder gedacht, sondern als bewegliche Knotenpunkte eines Netzwerks. Ein Bild bezieht sich immer auf weitere Bilder,

wobei sich seine Aussagekraft als relational, also situationsabhängig erweist. Blickt man auf den Inhalt der Bilder – das von Tembrock und seinen Kollegen untersuchte Fuchsverhalten –, ergibt sich ein ähnlicher Befund: Mit der in den 1950er Jahren erstarkenden ökologischen Perspektive auf die biologischen Grundlagen des Verhaltens gelten nicht mehr nur die Körperattribute eines einzelnen Tiers als aufschlussreich. Im Fokus steht nun die dynamische Relation des Tiers zu seiner Umwelt. Der Gesichtsausdruck eines Fuchses, seine Körperhaltung, seine Laute und so weiter erhalten nur im Hinblick auf die Beziehung zur Umgebung eine Bedeutung. An die Stelle des einzelnen Tiers, dessen Verhalten eine konstante Bedeutung zugeordnet wurde, treten nun Tiergemeinschaften und bewegliche Bezugssysteme.

Als Belege dieser Vorgehensweise dürfen die zahlreichen Sammlungsprojekte der Ethologie gelten. Zu den bekanntesten gehört die zwischen 1952 und 1993 vom Göttinger *Institut für den Wissenschaftlichen Film* (IWF) herausgegebene Filmzyklopädie mit dem Titel *Encyclopaedia Cinematographica*. In dieser wissenschaftlichen Bewegtbildsammlung sollten kurze Filmstreifen, biologischen Präparaten gleich, als Rohdaten für vergleichende Forschungsfragen bereitstehen. Der erste Eintrag der 16-mm-Enzyklopädie zeigt die Fortbewegungsart »Schritt« eines Indischen

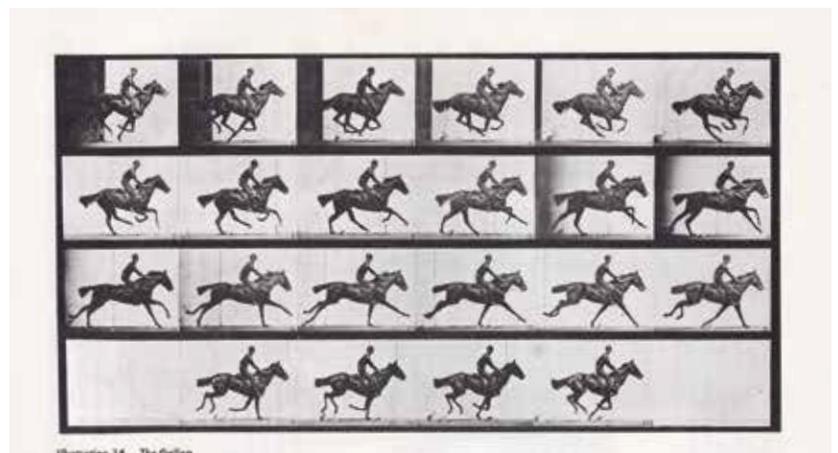
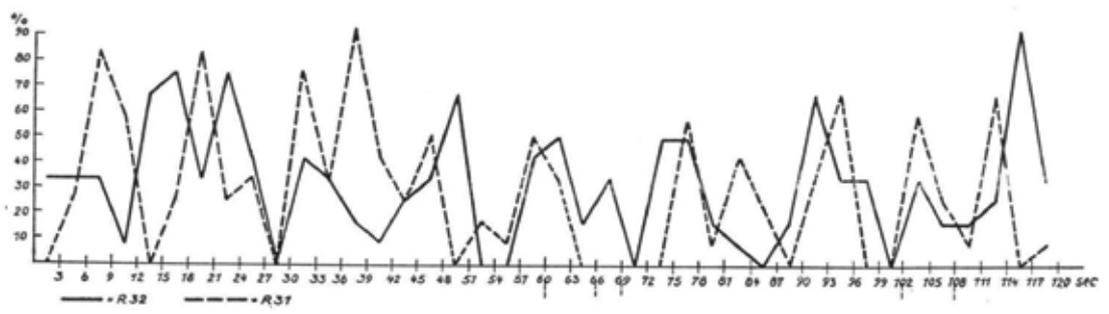
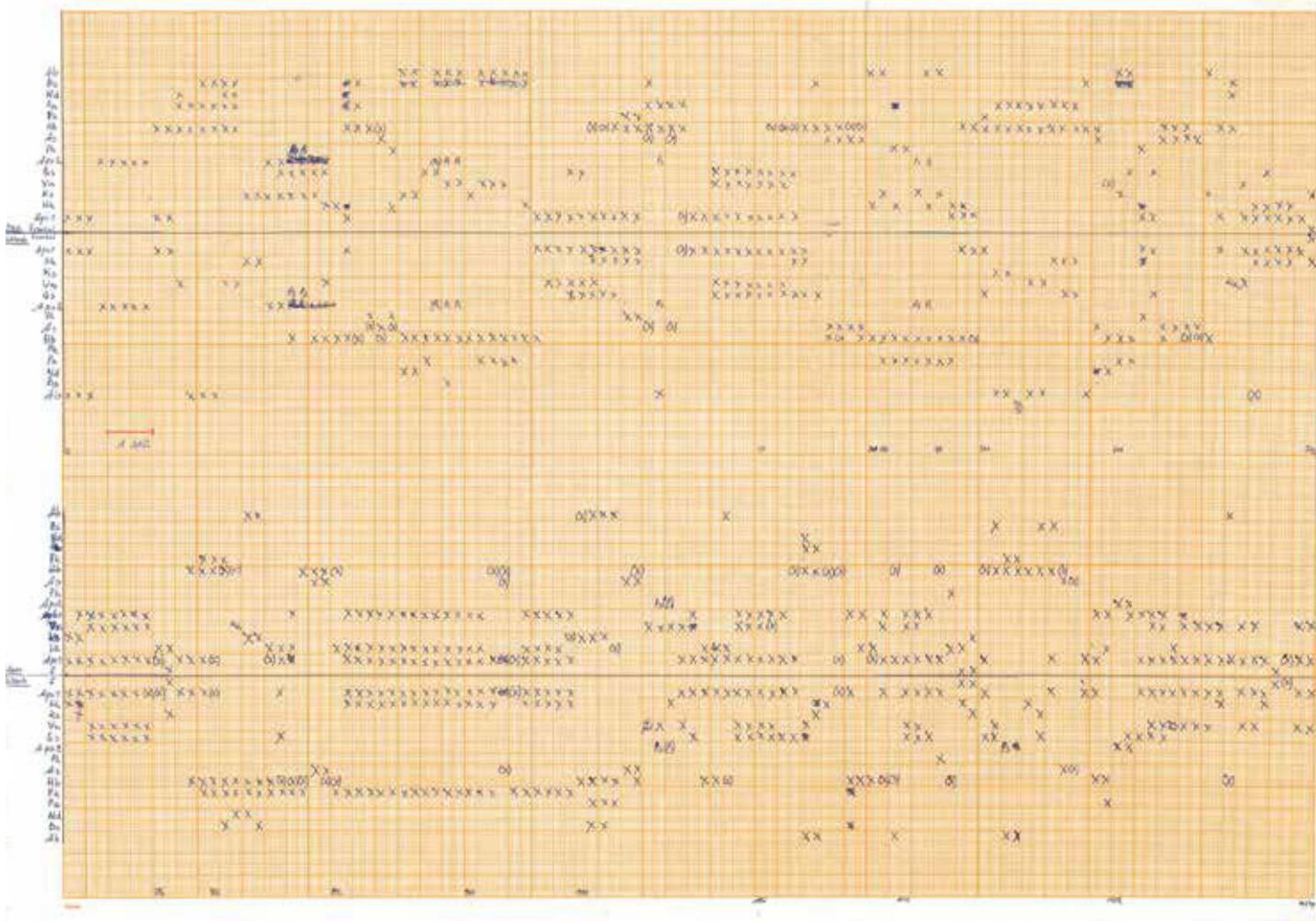
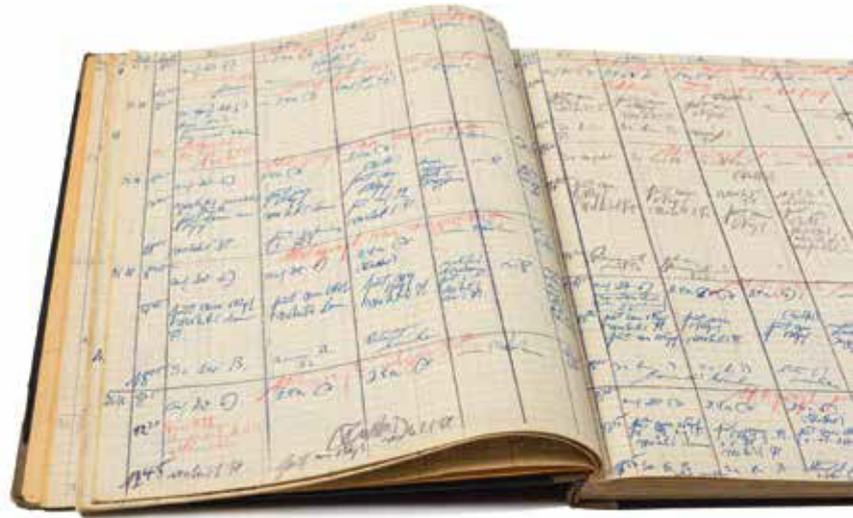


Illustration 14. The Gallop

Die Geschichte der modernen Verhaltensforschung steht im engen Zusammenhang mit der Entwicklung moderner Bildmedien. Seit Ende des 19. Jahrhunderts hat sich neben der Zeichnung und der Fotografie vor allem der Film als wichtiges Werkzeug der Forschung herauskristallisiert. Mithilfe bewegter Bilder sollte sich das Verhalten von Menschen und Tieren auf quasi-natürliche Art und Weise vor dem Auge der Forscher abspielen und vergleichen lassen. Nicht nur Filmwissenschaftlern sind heute die Bilder von Eadweard Muybridge bekannt, dessen Reihenaufnahmen, welche die Technik der Kinematographie einst vorbereiteten, den Bewegungsweisen eines Pferds beim Galopp gewidmet sind.

Ein aufgeschlagenes Protokollbuch von Günter Tembrock zum Verhalten der von ihm beobachteten Rotfuchse (oben). Tembrock hat das fuchsische Verhalten bis ins Detail analysiert, indem er die auf Film aufgezeichneten Kampfbewegungen der Füchse zunächst auf Millimeterpapier eintrug (Mitte) und dann ein Detail, den Halsbiss, statistisch auswertete und mithilfe eines Diagramms visualisierte.



Elefanten im Münchner Tierpark Hellabrunn. Weitere Bewegungsformen und Tierarten folgen.

Film als Ausgangsmaterial für Datenerfassung

Auch Günter Tembrock wird sein Repertoire durch das Analysemedium Film erweitern. Von 1951 an weisen seine Protokolle zahlreiche Notizen zu angefertigten Filmaufnahmen auf. Das Archiv bleibt an dieser Stelle jedoch ungewöhnlich stumm. Viele seiner Filme existieren nicht mehr – ein Schicksal, welches viele Forschungsfilme besitzen. Anders als Spielfilme geraten sie selten in ein Archiv. Nach aktuellem Kenntnisstand ist neben zwei von Tembrock gemeinsam mit dem *DEFA-Studio für den populärwissenschaftlichen Film* entstandenen Lehrfilmen nur ein Forschungsfilm zum Kampfverhalten zweier Rotfüchse überliefert. Doch es gibt die papiernen Zeugen des Filmischen: Großformatige Bögen Millimeterpapier beweisen die konkrete Nutzung des filmischen Bilds. Punkt für Punkt hatte Günter Tembrock Anfang der 1960er Jahre auf diesen Bögen mit einem Kugelschreiber die Bewegungen der von ihm beobachteten Tiere verzeichnet (siehe Abb.

S. 52 Mitte). Indem er das Filmmaterial in eine grafische Darstellung überführte, konnte er statistische Aussagen über die Rollenverteilung der zwei Laborfüchse während der Kampfszene treffen (siehe Abb. S. 52 unten). Hier sehen wir einen wichtigen Kippunkt sowohl in der Geschichte der Verhaltensforschung als auch in der des Forschungsfilms: Das filmische Bild wird in dieser Praxis in Daten verwandelt. Beides – die Erforschung des Tierverhaltens sowie die der bewegten Bilder – erfährt im Zuge der kybernetischen Wende der 1960er Jahre eine Abstraktion hin zu verrechenbaren Einheiten. Der Nachlass des Biologen Günter Tembrock zeigt dabei, dass die zunehmende Verrechnung von Verhalten, die heute mithilfe digitaler Technik geschieht, ihre Vorläufer in der analogen Protokollpraxis hat – also dem abstrahierenden Einsatz von Kugelschreiber und Papier.

Rotfüchse als Objekt moderner Ethologie

»Auch heute noch wird das Verhalten von Füchsen in Berlin erforscht. Die Wildtierbiologin Dr. Sophia Kimmig beschäftigt sich dabei mit der Anpassungsfähigkeit von Rotfüchsen an das Biotop der Stadt. Hierzu muss jedoch kein Fuchs mehr im Arbeitszimmer leben. Die Bewegungsdaten der frei lebenden Füchse werden bei Kimmig per GPS-Sender erfasst, spezifische Verhaltensweisen werden durch diese Sender und Wildkameras eingefangen. Und auch in einer weiteren Hinsicht hat Kimmig eine Neuerung vorgenommen: Waren die Beobachtungen früherer Forscher nicht immer repräsentativ, so sichert die Biologin ihre Forschung mit Mitteln der Statistik ab: Mithilfe Zehntausender von GPS-Ortungen der Füchse kann sie Modelle der Wildtierbewegungen in der Stadt erstellen und die genutzten Gebiete mit dem vergleichen, was den Tieren in der Stadt zur Verfügung steht. So erkennt sie Präferenzen und Vermeidungsverhalten der Füchse. Auch genetische Untersuchungen erlauben Einblicke ins Fuchsverhalten. Eine Reihe von Modellen der Wildtierbewegungen in der Stadt simuliert dabei Ausbreitungsszenarien der Füchse. Dann werden diese Szenarien mit Verwandtschaftsdaten aus der Wildbahn verglichen. Die Modellvariante mit der größten Ähnlichkeit zu den Daten aus dem Feld bildet am Ende des Experiments das Fuchsverhalten ab. So ließ sich zum Beispiel feststellen, dass Berliner und Brandenburger Füchse sich ungerne mischen und dass zwischen den ost- und westberliner Füchsen genetische Gräben bestehen. ●

Literatur

Bolinski, Ina und Rieger, Stefan: Das verdatete Tier: zum Animal Turn in den Kultur- und Medienwissenschaften, J.B. Metzler, Stuttgart 2019.

Hediger, Heini: Wildtiere in Gefangenschaft: ein Grundriss der Tiergartenbiologie, Schwabe, Basel 1942.

Kimmig, Sophia: The ecology of red foxes (*Vulpes vulpes*) in urban environments (2021), Berlin (Dissertation).

Lorenz, Konrad: Er redete mit dem Vieh, den Vögeln und den Fischen, Borotha-Schoeler, Wien 1949.

Muybridge, Eadweard: Animals in motion, Dover, New York 1957.

Niehaus, Michael: Das Protokoll: kulturelle Funktionen einer Textsorte, Lang, Frankfurt am Main (u.a.) 2005.

Tembrock, Günter: Zur Ethologie des Rotfuchses (*Vulpes vulpes* L.), unter besonderer Berücksichtigung der Fortpflanzung, in: Der Zoologische Garten N.F. 23, H. 4/6, 1957, S. 289–532.

Tembrock, Günter: Zur Strukturanalyse des Kampfverhaltens bei *Vulpes*, in: Behaviour, XIX (4), 1957, S. 261–282.

Vetter, Jeremy: Introduction: Lay Participation in the History of Scientific Observation, in: Science in Context, 24(2), 2011, S. 127–141.

Wolf, Gotthard: Der wissenschaftliche Dokumentationsfilm und die Encyclopaedia Cinematographica, Barth, München 1967.

Abbildungsnachweis

S.48 oben: Foto: Carola Radke MfN 2021; unten: Abbildung aus: Tembrock, Günter: Zur Ethologie des Rotfuchses, S. 294.
S. 49: Tembrock Forschungssammlung Berlin (TFSB), undatiert.
S. 50: Tembrock Forschungssammlung Berlin (TFSB), 1953 u. 1957.
S. 51 Kasten: Illustration 14: »The Gallop«, aus Muybridge, Eadweard: Animals in motion, S. 50.
S. 52 oben: Foto: Hwa Ja Götz MfN 2020; Mitte: Tembrock Forschungssammlung Berlin (TFSB), undatiert; unten: Tembrock, Günter: Zur Strukturanalyse des Kampfverhaltens bei *Vulpes*, S. 274.



Die Autorin

Sophia Gräfe, Jahrgang 1988, ist Medien- und Kulturwissenschaftlerin. Seit 2018 forscht sie an der Philipps-Universität Marburg zur Medien- und Wissensgeschichte des Verhaltens. 2021 hat sie als Gast am History of Science Department der Princeton University mit Historikern die Rolle von Medien für die historische Rekonstruktion vergangener Wissensbestände der Biologie diskutiert. Die Suche nach Filmen, Fotografien, Zeichnungen und weiteren Medien im Kontext der modernen Verhaltensforschung führt sie auch in die Nachlassarchive bekannter Biologen, darunter Konrad Lorenz, Nikolaas Tinbergen und – Günter Tembrock. Ihre neuesten Entdeckungen im Berliner Archiv des ostdeutschen Biologen hat sie im Dezember 2021 auf der internationalen Konferenz »Visible Evidenz« an der Goethe-Universität Frankfurt vorgestellt.

sophia.graefe@uni-marburg.de



Mobil produzieren, mobil konsumieren

Wie die Beweglichkeit der Geräte die Herstellung
von Filmen verändert hat

von Laura Laabs

Während unsere Eltern sich noch mit dem Schneiden und Vertonen von Super-8-Filmstreifen abmühten, stellen Smartphones heute raffinierteste Technik für die Hosentasche zur Verfügung. Doch was macht es mit dem Film, wenn jeder Mensch Videos produzieren und ins Netz stellen kann? Und inwiefern finden mobile Geräte bereits Verwendung in der Filmproduktion?

Am 17. Oktober 2021 lädt die TikTok-Nutzerin Becca Murray (@thebeccamurray) ein Video von sich selbst auf der Plattform hoch. Es zeigt sie in der Küche, lachend und eine Karotte essend. Eine Bildüberschrift Murrays kontextualisiert das Video scherzhaft: »filming myself so this can be played at my funeral because my partner doesn't film me.« Meine Formulierung, sie hätte »ein Video von sich selbst« hochgeladen, ist im Grunde redundant. Der Witz von Murrays Clip besteht gerade darin, dass sie und die zahllosen Userinnen und User von TikTok, YouTube und vielen weiteren Plattformen und Programmen quasi unentwegt Filmmaterial von sich selbst produzieren und in Umlauf bringen. Wozu dann also noch von einer anderen Person gefilmt werden? Was unterscheidet dieses Video auf Becca Murrays Profil von ihren anderen Videos?

Zwischen Inszenierung und Ungestelltheit

Der Clip ist bearbeitet mit TikToks »Retro-Kamera«-Filter. Auf Videos angewandt, die mit modernen Smartphones aufgenommen werden, simuliert dieser bestimmte visuelle Eigenheiten von inzwischen weitgehend obsolet gewordenen Filmformaten. Dazu gehören Grobkörnigkeit und Filmfehler ebenso wie ein Interface – im Sinne einer Benutzeroberfläche – bestehend aus Symbolen, die zum Beispiel Angaben zur Belichtungszeit oder Bildfrequenz machen. Murrays Video ist auch deswegen interessant, weil es auf eine affektiv und nostalgisch besetzte Verwendungsweise des »Vintage-Looks« abzielt, die uns beispielsweise in Hollywood-Filmen oder auch im True-Crime-Genre immer wieder begegnet: Die Einbettung (scheinbarer) Amateurfilm-Aufnahmen, die häufig glückliche und lachende Frauen in trivialen Alltagssituationen oder auch im gemeinsamen Urlaub zeigen,

als Andenken in Beerdigungs- oder Todesfall-Szenarien.

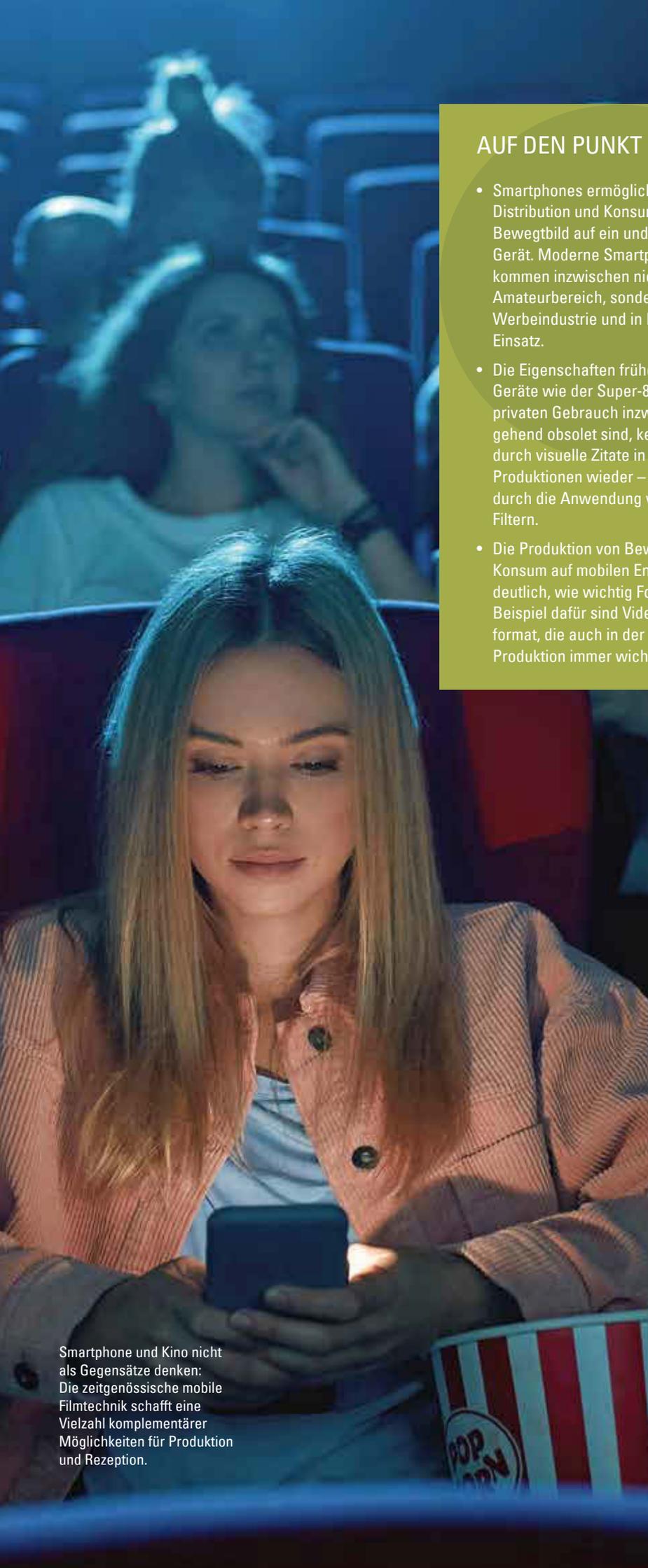
Murrays Video parodiert diese Verwendungsweise. Oder genauer: Sie parodiert mit dem Filter eine bestimmte Authentisierungsstrategie. Als Teil einer solchen erzeugen scheinbar ungestellte und zufällige – »natürliche« – Aufnahmen den Effekt von Nähe zur beziehungsweise »Echtheit« der gezeigten Person. Bei einer Beerdigung möchte man sagen können: »Genau so war sie.« Es ist eine Binsenweisheit, dass sich Inhalte, die in sozialen Medien geteilt werden, in genau diesem Spannungsfeld aus Inszenierung und Ungestelltheit bewegen. Becca Murrays Parodie weist uns also bei genauerer Betrachtung auf einen besonderen ästhetischen Stellenwert von Filmaufnahmen mobiler Geräte hin.

Sprung nach Hollywood

Die Bewegtbildproduktion für Kanäle auf sozialen Medien gibt allerdings auch Anlass dazu, Fragen nach dem Verhältnis von Privatheit und Öffentlichkeit, von Amateurproduktionen und Professionalisierung zu stellen. Werbung und Unterhaltung sind auf sozialen Medien häufig – und wenn, dann nur schwierig – voneinander zu trennen. Make-up-Influencer, die vor allem durch YouTube erfolgreich wurden, kooperieren beispielsweise häufig mit etablierten Kosmetikmarken oder gründen eigene. TikTok-Nutzer Julian Bass (@thejulianbass) gelang der Sprung nach Hollywood dank eines Videos, das schnell viral gegangen ist (Rahman, 2020). Das Video zeigt ihn, aber vor allem

Unentwegte Filmproduktion: Becca Murray beim ironischen Spiel mit dem Medium.





AUF DEN PUNKT GEBRACHT

- Smartphones ermöglichen Produktion, Distribution und Konsumtion von Bewegtbild auf ein und demselben Gerät. Moderne Smartphone-Kameras kommen inzwischen nicht nur im Amateurbereich, sondern auch in der Werbeindustrie und in Hollywood zum Einsatz.
- Die Eigenschaften früherer mobiler Geräte wie der Super-8-Kamera, die im privaten Gebrauch inzwischen weitgehend obsolet sind, kehren mitunter durch visuelle Zitate in heutigen Produktionen wieder – beispielsweise durch die Anwendung von »Vintage«-Filtern.
- Die Produktion von Bewegtbild für den Konsum auf mobilen Endgeräten macht deutlich, wie wichtig Formate sind. Ein Beispiel dafür sind Videos im Hochformat, die auch in der professionellen Produktion immer wichtiger werden.

auch seine Fähigkeiten in der Produktion visueller Spezialeffekte (englisch »Visual Effects« oder kurz VFX). Im Video verkörpert er fiktionale Helden wie Spider-Man oder einen Jedi-Ritter, schließt also dezidiert an bereits etablierte Marken an. Das Video verzeichnet aktuell auf TikTok 17,2 Millionen Aufrufe und weitere 27,1 Millionen Aufrufe bei Twitter. Bass weckte unter anderem das Interesse von Bob Iger, ehemals CEO und noch Vorstandsmitglied von Disney (Rahman, 2020). Derzeit arbeitet er, wie er selbst verlautbaren ließ, an einem nicht näher definierten größeren Projekt.

Semi-Professionalität typisch für soziale Medien

Die Bewegtbildproduktion für soziale Medien ist in vielen Bereichen nicht nur von »blutigen« Amateuren auf der einen und Vollzeit-Profis auf der anderen Seite gekennzeichnet, sondern insbesondere auch von Semi-Professionalisierung. Diese ist für viele Nutzer der Übergang von privater Produktion ins hauptberufliche Geschäft – wie es Julian Bass vorgemacht hat. Auch im professionellen Filmgeschäft wird in der Produktion inzwischen mit Smartphones gearbeitet. Beispiele sind Steven Soderberghs *Unsane* (2018) und *High Flying Bird* (2019), aber auch die Netflix-Serie *Homemade* (2020), die während der COVID-19-Pandemie entstand und sie in Kurzfilmen thematisiert.

Ob Smartphones oder Camcorder, Super-8- oder Polaroid-Kameras: Ihre ästhetische und diskursive Aufladung als gleichermaßen Produzenten und Vermittler von Spontanität, Nähe und Authentizität hängt eng mit Formaten zusammen. Formate stellen Mittel der Strukturgebung dar, die die vermittelte Information – also zum Beispiel das bewegte Bild – auf eine spezifische Art und Weise organisieren und präsentieren (Volmar/Jankovic/Schneider, 2020). Der Begriff »Format« kann Material-Eigenschaften (zum Beispiel die 35 mm des entsprechenden Filmmaterials) ebenso meinen wie strukturelle oder organisatorische Eigenschaften (wie Dateiformate). So kehrt die Grobkörnigkeit von Filmbildern im Super-8-Format als Filter bei Instagram und TikTok wieder. Umgekehrt lässt sich festhalten: Mobile Endgeräte und ihre Formate hinterlassen nicht nur ästhetische Spuren in

Smartphone und Kino nicht als Gegensätze denken: Die zeitgenössische mobile Filmtechnik schafft eine Vielzahl komplementärer Möglichkeiten für Produktion und Rezeption.

Filmproduktionen. Sie haben auch direkten Einfluss auf die Produktion der Bilder. Ohne einem Technikdeterminismus das Wort zu reden, so schließt doch die Produktion für und mit bestimmten Formaten oftmals auch die Produktion für bestimmte Endgeräte oder Verwendungszwecke ein. Ein Beispiel wäre die Produktion von Werbeeinheiten auf sozialen Medien, die vorrangig auf mobilen Smartphones konsumiert werden.

Unterschiedliche Endgeräte erfordern unterschiedliche Formate

Peter Merziger, Geschäftsführer der Saarbrücker Marketing-Agentur M7, erläutert dies in Bezug auf Bewegtbildwerbung für die Social-Media-Kanäle der Kunden. Das Gespräch mit ihm macht deutlich, dass stets von Filmindustrien im Plural gesprochen werden muss – der Blick in die Unterhaltungssparte allein genügt nicht. M7 produziert Filme sowohl für firmeninternen wie auch externen Gebrauch; für die klassische Projektion wie auch mit Optimierung für Smartphones. Im Bereich der sozialen Medien wird neben dem bereits bekannten quadratischen auch zunehmend das vertikale 9:16-Format wichtig, weil vertikale Formate der konventionellen Nutzungsweise und Ausrichtung von Smartphones entsprechen und den Bildschirm optimal ausfüllen können. Einige Plattformen wie Instagram forcieren zudem die vertikale Nutzung, indem sie beim Drehen des Geräts nicht skalieren, auch wenn sie es theoretisch könnten. 9:16 ist die vertikale Umkehrung des Seitenverhältnisses von 16:9, das wir aus dem Fernsehen kennen. Als Hochformat verlangt es von den Filmemachern spezifische Herangehensweisen und Schnitt-Techniken. Merziger berichtet vom konkreten Fall eines Werbefilms, der einen Dialog zwischen zwei Personen beinhaltet. Diese konnten nicht, wie im Querformat, beide gleichzeitig in der Totale oder Halbtotale gezeigt werden. Während der Aufnahmen und der Postproduktion mussten also Alternativen gefunden werden, beispielsweise eine Kameraperspektive, die den Blick »über die Schulter« der Gesprächspartner erlaubt.

M7 produziert jedoch nicht nur Bewegtbild, das für den Konsum auf mobilen Geräten gedacht ist. Gefilmt wird ebenfalls mit Smartphones. Im Gespräch macht Peter Merziger auf deren kamera- und aufnahmetechnische Leistungsstärke aufmerksam. So seien moderne iPhones beispielsweise in der Lage, nicht nur Fotos, sondern auch Videos mit Bokeh-Effekt zu filmen, das heißt mit Hintergrund-Unschärfe bei scharfem Hauptmotiv. Gefilmt wird zudem hauptsächlich mit der dedizierten Geräte-Software (also zum Beispiel mit Apples Kamera-Anwendung) und weniger mit Programmen

von Drittanbietern. Optische Bildstabilisierung mache zudem die Produktion einfacher. Gimbals – vereinfacht gesagt Halterungen oder Aufhängungen, die als externe Stabilisierungssysteme für Kameras fungieren – seien so inzwischen in manchen Situationen unnötig geworden.

Die Kamera immer am Körper

Der logische Preis für die größere Mobilität von Kameras war und ist weiterhin die Reduktion des technischen Umfangs und, je nach Gebrauchssituation, damit auch eine Einschränkung der Funktionalitäten. Die Produktion mit oder für mobile Geräte ist nicht automatisch mit weniger Aufwand verbunden, das betont auch Merziger. Insbesondere hinsichtlich des privaten Gebrauchs ist für ihn allerdings klar: »Die beste Kamera ist die, die ich dabei habe, wenn ich sie brauche.« So können Smartphones etwa von der Notwendigkeit entbinden, zusätzliche Kameras mit in den Urlaub zu nehmen. Denn viele Menschen tragen ihre mobilen Kameras direkt am Körper, in der Hosens- oder Umhängetasche. Die oben beschriebene »Nähe« ist dann im pragmatischen Sinn auch eine Griffbereitschaft, die wiederum Flexibilität ermöglicht.

Smartphones ermöglichen es uns, Bewegtbild auf dem gleichen Gerät zu produzieren, zu verbreiten und zu konsumieren. Becca Murrays kurzes Video forciert allerdings die Frage, wer eigentlich Filmaufnahmen für welches Publikum und mit welchen Mitteln produziert, und welche technischen Effekte dabei gezielt zum Einsatz kommen. Es verdeutlicht im Umkehrschluss, dass die Geräte und Anwendungen, die wir verwenden, gerade nicht neutral sind, so allgegenwärtig und scheinbar selbstverständlich sie sein mögen. Wenn wir über Bewegtbild nachdenken, sollten wir nicht nur deren Ästhetik berücksichtigen, sondern auch ein Auge für die dazugehörigen Geräte, Formate, Produktions- und Konsumtionsbedingungen behalten. ●



Die Autorin

Laura Laabs, 29, ist Wissenschaftliche Mitarbeiterin und Doktorandin am DFG-Graduiertenkolleg »Konfigurationen des Films« an der Goethe-Universität. Sie hat Theater-, Film- und Medienwissenschaft, Anglistik sowie Film- und Medienkulturforschung in Frankfurt und München studiert. Schwerpunktmäßig forscht sie derzeit zu Paratexten von Computer- und Videospiele und beschäftigt sich allgemein mit medienkulturwissenschaftlichen Perspektiven auf digitale Spiele. Seit 2020 ist sie Redakteurin bei »PAIDIA – Zeitschrift für Computerspiele-forschung«.

laabs@fm.uni-frankfurt.de

Bedrohte Artenvielfalt auf den Inseln der Erde

Viel Biodiversität auf wenig Fläche – so lässt sich das Leben auf den Inseln der Erde beschreiben: Zwar machen sie nur 7 Prozent der Landfläche aus, doch sie beherbergen 20 Prozent aller Tier- und Pflanzenarten. In einem Beitrag in der Zeitschrift »Global Ecology and Conservation« beschreibt der Biogeograph Prof. Severin Irl (Goethe-Universität) zusammen mit Kollegen den Ist-Zustand der Artenvielfalt – ein alarmierender Text.

nichtheimischen Arten und dem Klimawandel. Die auf Inseln lebenden Spezies können sich aber häufig schlechter an Veränderungen anpassen als Arten auf dem Festland. Mehr als 800 Arten sind deshalb in den vergangenen 500 Jahren unwiderruflich verloren gegangen. »Wenn es so weitergeht, ist klar, dass Inseln den Großteil der in Zukunft ausgestorbenen Arten tragen werden«, sagt Severin Irl.

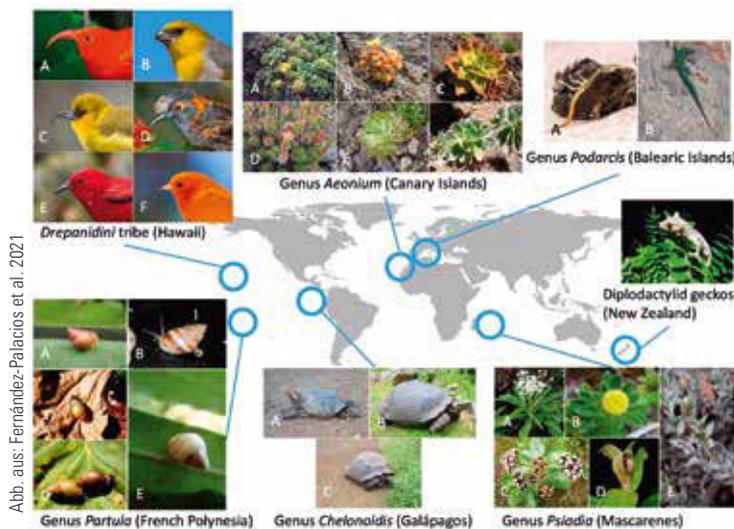


Abb. aus: Fernández-Palacios et al. 2021

Die Artenvielfalt auf Inseln ist extrem bedroht.

Die Ökosysteme auf Inseln stehen durch menschliche Aktivitäten stark unter Druck, beschreiben die Autoren, die allesamt dem Leitungsgremium der 2020 gegründeten Society of Island Biology (SIB) angehören. Durch die Isolation vom Festland haben sich auf Inseln einzigartige Pflanzen- und Tierpezies entwickelt, sogenannte endemische Arten, die weltweit nur auf den jeweiligen Inseln und Archipelen vorkommen. Der Druck, dem sie ausgesetzt sind, resultiert aus der Übernutzung von Ökosystemen, der Zerstörung von Habitaten zum Beispiel durch Landwirtschaft, der Einführung von

Die Autoren des Beitrags, die sich als internationales Sprachrohr für endemische Arten verstehen, schlagen konkrete Maßnahmen vor, um weiteres Aussterben zu verhindern. Als Grundlage werde ein vollständiges Inventar der Arten auf Inseln benötigt. Dass ein solches oft fehlt, erschwert die Entwicklung geeigneter Naturschutzkonzepte. Jegliche Maßnahmen, so heißt es in dem Beitrag, müssten die Bedürfnisse der lokalen Bevölkerung einbeziehen, die als Bewahrer der Biodiversität fungieren und mit der Wissenschaft entsprechende Kapazitäten aufbauen sollten. <https://tinygu.de/Inselarten>

Zukunftsbündnis: Helmholtz-Zentrum und Goethe-Uni

Die Wasserforschung gemeinsam voranzubringen, das haben sich die Goethe-Universität und das Helmholtz-Zentrum für Umweltforschung in Leipzig zum Ziel gesetzt und einen entsprechenden Rahmenkooperationsvertrag abgeschlossen. Künftig soll es gemeinsame Forschungsprojekte geben, Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler am Beginn ihrer Laufbahn sollen von beiden Institutionen in der interdisziplinären Umweltforschung ausgebildet werden. »Insbesondere unser Fachbereich Biowissenschaften und der Themenbereich »Chemikalien in der Umwelt« des Helmholtz-Zentrums verfügen jeweils über Expertisen, die sich hervorragend ergänzen. Forschungsstrategisch verbindet uns das Ziel, die Umweltforschung einerseits enger mit der Gesundheitsforschung zu verzahnen im Sinne des One-Health-Ansatzes und sie andererseits weiter mit der Biodiversitätsforschung zu verknüpfen«, sagt Prof. Enrico Schleiff, Präsident der Goethe-Universität. Das nachhaltige Management der ohnehin knappen und bedrohten Ressource Wasser wird durch den Klimawandel vor noch größere Herausforderungen gestellt. Diesen wollen sich die beiden Forschungseinrichtungen in ihrer strategischen Kooperation stellen. Das Leipziger Helmholtz-Zentrum für Umweltforschung erforscht die komplexen Wechselwirkungen zwischen Mensch und Umwelt in genutzten und gestörten Landschaften, insbesondere in dicht besiedelten städtischen und industriellen Ballungsräumen sowie naturnahen Landschaften. Forschung zum Erhalt der natürlichen Lebensgrundlagen des Menschen und der Biodiversität gehört zu den profilbildenden Forschungsbereichen der Goethe-Universität.

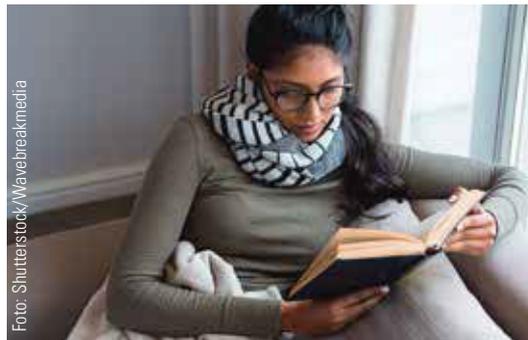
<https://tinygu.de/Umweltbuendnis>

Lesen und Sprechen folgen einem ähnlichen Takt

Beim Lesen bewegt sich der Blick in einem bestimmten Muster über den Text. Dieses Muster ähnelt in überraschendem Ausmaß der Rhythmik gesprochener Sprache, wie ein Team von Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftlern unter maßgeblicher Beteiligung der Goethe-Universität herausgefunden hat. Die Ergebnisse ihrer Forschung sind in der Fachzeitschrift »Nature Human Behavior« erschienen.

Ein internationales Team von Forscherinnen und Forschern mit starker Beteiligung der Goethe-Universität hat in Blickbewegungsexperimenten und einer Metastudie mit 14 verschiedenen Sprachen herausgefunden, dass diese zeitliche Struktur des Lesens nahezu identisch ist mit der dominanten Rhythmik der gesprochenen Sprache. Daraus lasse sich schließen, dass sich die Verarbeitung von geschriebener und gesprochener Sprache in einem größeren Maße ähneln als bisher angenommen. Weitere beteiligte Forschungseinrichtungen waren die Universität Wien, das Ernst Strüngmann Institut Frankfurt, die New York University, das Max-Planck-Institut für empirische Ästhetik Frankfurt und die Universität Salzburg.

Neueste Forschungen zeigen:
Der Rhythmus beim Lesen ähnelt dem beim Sprechen.



Sprachen und Schriftsysteme sind zentrale Elemente menschlicher Kommunikation. Schriftsysteme ermöglichen uns seit Jahrtausenden, Information nicht nur von Angesicht zu Angesicht zu teilen, sondern sie auch materiell zu speichern und dauerhaft verfügbar zu machen. »Das Lesen ist eine der faszinierendsten kulturellen Errungenschaften des Menschen«, sagt Erstautor Dr. Benjamin Gagl, bis vor Kurzem wissenschaftlicher Mitarbeiter am Institut für Psychologie der Goethe-Universität. »Die gesprochene Sprache beeinflusst auch das Lesen. Bis jetzt ist aber wenig über die gemeinsamen zugrunde liegenden Mechanismen von Lesen

und gesprochener Sprache bekannt«, erklärt Gagl, der von Haus aus Psychologe ist.

Diese Mechanismen hat Gagl gemeinsam mit einem internationalen Team unter Leitung von Prof. Christian Fiebach untersucht, indem er die zeitlichen Strukturen des Lesens mit denen der gesprochenen Sprache verglich. Dabei zeigte sich, dass die rhythmischen Abläufe der Augenbewegungen beim Lesen und die dominante Rhythmik im Sprachsignal nahezu identisch sind. Diese Erkenntnis wirft ein neues Licht auf die Schnittstelle zwischen geschriebener und gesprochener Sprache.

<https://tinygu.de/Leserhythmus>

Sechs Meistzitierte forschen an Goethe-Uni

Von den 6600 am meisten in wissenschaftlichen Publikationen zitierten Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftlern der Welt arbeiten sechs an der Goethe-Universität. Dies hat das diesjährige Zitationsranking »Web of Science« ermittelt. Aus wessen Publikationen viel zitiert wird, der hat auch Grundlegendes herausgefunden. Deshalb ist die Häufigkeit der Zitationen – insbesondere in den Naturwissenschaften und in der Medizin – ein Indikator für die wissenschaftliche Bedeutsamkeit einer Publikation, aber auch für das Standing der Autoren in der »Scientific Community«. Die am häufigsten zitierten Professorinnen und Professoren der Goethe-Universität sind: Ivan Dikic (Biochemie II), Stefanie Dimmeler (Medizin), Petra Döll (Physische Geographie), Stefan Knapp (Pharmazie), Sibylle Loibl (Medizin) und Stefan Zeuzem (Medizin).

<https://tinygu.de/Meistzitierte>

Ausgezeichnete Forschung zu Umwelt und Nachhaltigkeit

Die Kulturanthropologin Kathrin Eitel und der Biologe Christian Scherer sind für ihre Abschlussarbeiten mit dem Frankfurter Preis für Umwelt und Nachhaltigkeit 2021 ausgezeichnet worden. Kathrin Eitel zeige in ihrer Dissertation »Recycling Infrastructure, Practices of Waste Handling in Phnom Penh« eindringlich, wie Müll sich in die Natur einer Stadtlandschaft eintrage. Eitel plädiere für eine Kreislaufwirtschaft, die den Metropolen des Globalen Südens eine nachhaltige Entwicklung ermöglichen soll. Christian Scherer hat in seiner Doktorarbeit »Mikroplastik in Binnengewässern – Herkunft, Verbleib und Wirkung« untersucht. Das Gutachtergremium lobte, dass er das Phänomen von den Quellen bis zu den Auswirkungen umfassend dargestellt habe. Die Förderpreise gingen an die Soziologin Anita Kalustian, die Biowissenschaftlerin Jasmin Thal und den Umweltwissenschaftler Jonas Wallraff.

<https://tinygu.de/Nachhaltigkeitspreis>

Graduiertenkolleg zu Entzündungen geht weiter

Die Förderung des DFG-Graduiertenkollegs »Auflösung von Entzündungsreaktionen« (GRK 2336) der Goethe-Universität wird für weitere viereinhalb Jahre fortgesetzt. Das Kolleg, das 2017 an den Start ging, befasst sich mit der relativ jungen Erkenntnis, dass auch das Abklingen einer Entzündung aktiv durch den Körper gesteuert wird. Erforscht werden soll, wie dies auf zellulärer und molekularer Ebene abläuft – und warum es manchmal misslingt. Lange Zeit hatte man angenommen, dass ein Entzündungsprozess nach Verletzungen oder chemischen Reizen vom Körper zwar aktiv ausgelöst wird, dass aber das Abklingen der Entzündung durch das allmähliche Absterben der beteiligten Abwehrzellen und die Verdünnung der Entzündungssignalstoffe erfolgt. Graduiertenkollegs bearbeiten interdisziplinäre Forschungsprojekte und geben einen Ausbildungsrahmen für den wissenschaftlichen Nachwuchs.

<https://tinygu.de/Entzuendungen>

Schon Kelten und Römer betrieben Bergbau im Montafon

Ob der Name »Montafon« tatsächlich von dem Wort für »Muntaufo« oder »Grubenberg« kommt? Archäologen der Goethe-Universität haben herausgefunden: Schon in spätkeltischer und römischer Zeit ist in dem 39 Kilometer langen Tal im österreichischen Vorarlberg Bergbau betrieben worden.

Die Geschichte des Bergbaus im Montafon ist offenbar von einer langen Kontinuität geprägt. Wie Forschungen gezeigt haben, wurden die Erzlagerstätten schon seit spätkeltischer Zeit über viele Jahrhunderte hinweg genutzt. Dass es aber bereits in keltischer und römischer Zeit Aktivitäten im Berg gab, war bislang nicht bekannt. Die neuen Erkenntnisse machen das Montanrevier zu einem der bemerkenswertesten in den Alpen. »Damit hatten wir nicht gerechnet«, sagt Rüdiger Krause, Professor für Vor- und Frühgeschichte am Institut für Archäologische Wissenschaften der Goethe-Universität Frankfurt. Zwar hätten bereits die montanarchäologischen Forschungen der vergangenen Jahre gezeigt, dass das kleine Montanrevier am Bartholomäberg eine sehr



Bei den Ausgrabungsarbeiten am Bartholomäberg brachten Frankfurter Archäologen Überraschendes zutage.

spannende und besondere Forschungsregion ist, aus der aus Bergbauhalden, alten Oberflächen und aus Mooren viele Funde und Befunde dokumentiert, Proben geborgen und zahlreiche Daten gewonnen werden konnten. Montanarchäologische Quellen

zum römischen Bergbau in den Ostalpen waren aber bisher unbekannt. Die neuen Ausgrabungen mit studentischer Beteiligung haben im September in der Knappgruaba nun eine kleine Sensation offenbart: An den Oberflächen waren Spuren früheren Bergbaus gut erkennbar, sie bestanden aus Abraumhalden aus Taubgestein, den runden in den Fels gehauenen Schächten und aus den Hinweisen auf tiefer gelegene Eisenerzgänge. Erstmals konnten montanarchäologische Befunde aus römischer Zeit freigelegt werden, die nicht nur für das kleine Montanrevier, sondern weit darüber hinaus für die Ostalpen einmalig sind. Ausgegraben wurden bis in drei Meter unter der Oberfläche zwei verfüllte Bergbauschächte, die im Bereich einer Vererzung abgeteuft wurden. Davon zeugen an der Oberfläche des Felsens Klüfte

mit Eisenoxiden und Quarzgängen, die den sogenannten Eisernen Hut – also die Oxidationszone eines Erzganges – bilden. Wie tief die Schächte in den Untergrund reichen, das soll zukünftig durch Rammkernbohrungen herausgefunden werden. <https://tinygu.de/Montafon>

Vom Maschinenlernen zum Maschinenlehren: VolkswagenStiftung fördert interdisziplinäre KI-Forschung

Rund 10 Millionen Euro gibt die Volkswagen-Stiftung in die Forschung dazu, wie sich Künstliche Intelligenz auf die Gesellschaft auswirken wird. Die Goethe-Universität Frankfurt (GU) war mit einem Antrag erfolgreich, der die Entwicklungen im Bereich der Bildung in den Blick nimmt.

»From Machine Learning to Machine Teaching (ML2MT) – Making Machines AND Humans Smarter« – so lautet der Titel des Projekts, das der Wirtschaftswissenschaftler Prof. Oliver Hinz gemeinsam mit Kolleginnen und Kollegen aus verschiedenen Fächern beantragt hat. Der Erfolg von lernenden Maschinen wie im Paradebeispiel des Brettspiels Go (in der Computerversion »AlphaGo Zero«) hat die Wissenschaftler inspiriert. Ihr Projekt zielt auf ein besseres Verständnis dessen ab, wie Menschen und Maschinen in kollaborativen Mensch-KI-Systemen in symbiotischer Interaktion miteinander neues Wissen erschließen können. Am Projekt wirken im Einzelnen mit: Prof. Oliver Hinz (Wirtschaftswissenschaften, GU (Leitung)),



Wie wirkt sich der Einsatz von KI auf die Gesellschaft aus? Ein interdisziplinäres Projekt nimmt die Entwicklungen im Bereich der Bildung in den Blick.

Prof. Yee Lee Shing (Entwicklungspsychologie, GU), Prof. Lorian Pelizzon (Wirtschaftswissenschaften, GU) und Prof. Tobias Tröger (Rechtswissenschaft, GU; beide außerdem am Leibniz-Institut für Finanzmarktforschung SAFE, Frankfurt), Prof. Gernot Rohde (Universitätsklinikum Frankfurt/Main und GU), Prof. Kristian Kersting (Informatik, TU Darmstadt), Prof. Hendrik Drachslers (Informatik, GU, und Leibniz-Institut für Bildungsforschung und -information, Frankfurt/Main).

<https://tinygu.de/KI-ProjektHinz>

Neue Erkenntnisse zur Behandlung von COVID-19

Dem Institut für Medizinische Virologie der Goethe-Universität und der School of Biosciences an der University of Kent ist es gelungen, neue Angriffspunkte zur Behandlung von COVID-19 zu identifizieren. Bei einer Infektion programmiert das Coronavirus seine Wirtszellen um, sodass diese neue Viren produzieren. Dabei wird auch der Stoffwechsel der infizierten Zellen verändert. Bereits in früheren Projekten hatten Prof. Jindrich Cinatl und sein Team gezeigt, dass die betroffenen Zellen Glukose anders umsetzen als nichtbetroffene Zellen. Nun zeigte sich, dass eine Infektion außerdem Änderungen im Pentosephosphatweg mit sich bringt. Wirkstoffe, die mit virusinduzierten Stoffwechselveränderungen interferieren, könnten ein Ansatzpunkt für neue Behandlungsmöglichkeiten bieten. »Die Hemmung virusvermittelter Änderungen im Stoffwechsel infizierter Zellen ist ein guter Weg, infizierte Zellen gezielt zu behandeln«, so Prof. Cinatl.

<https://tinygu.de/Covid-Behandlung>

2,7 Millionen für Inklusive Bildungsforschung

Deutschlands Bildungswesen soll inklusiver werden, und dafür braucht es qualifizierte Fachkräfte und eine gute Diagnostik. Seit 2017 fördert das Bundesministerium für Bildung und Forschung wissenschaftliche Projekte im Bereich inklusive Bildung als eigenen Schwerpunkt im Rahmenprogramm Bildungsforschung. In der ersten Förderphase ging es um die Qualifizierung der pädagogischen Fachkräfte, in der zweiten wird es um Diagnostik gehen. Die Goethe-Universität hat sich auch diesmal erfolgreich durchgesetzt – mit vier Verbundprojekten und einem Metavorhaben.

Die Entwicklung neuer Aus-, Fort- und Weiterbildungskonzepte und -materialien für Fachpersonal im Bildungswesen, sie stand im Zentrum der Förderrichtlinie »Qualifizierung der pädagogischen Fachkräfte für Inklusion« des Bundesministeriums für Bildung und Forschung (BMBF). Diese Entwicklung sollte auf wissenschaftlichen Grundlagen und an unterschiedlichen Standorten stattfinden. Die erste Phase umfasste 20 Einzel- und 18 Verbundprojekte, fünf mit Beteiligung der Goethe-Universität. Zudem hatten die Frankfurter Erziehungswissenschaftler Prof. Dieter Katzenbach und Prof. Michael



Damit Inklusion im Bildungswesen gelingen kann, muss das Personal gut geschult sein.

Urban ein Metavorhaben eingeworben, das für Vernetzung, Transfer und Forschung auf Metaebene – etwa zum internationalen Forschungsstand – zuständig war. Eine zentrale Homepage wurde erstellt, die unter www.qualifizierung-inklusion.de zu finden ist, eine peer-reviewte Online-Zeitschrift mit dem Titel *Qif – Qualifizierung für Inklusion* – ins Leben gerufen (www.qfi-oz.de). Bei Veran-

staltungen kamen nicht nur die Projektbeteiligten zusammen, sondern auch andere Akteure aus Praxis, Administration und Politik.

Diese vielfältige und erfolgreiche Arbeit kann nun für weitere fünf Jahre fortgesetzt werden, das BMBF hat allein für das Metavorhaben weitere 1,7 Millionen Euro zugesagt, insgesamt fließen 2,7 Millionen Euro an die Goethe-Universität. Diese zweite Förderphase trägt den Titel »Förderbezogene Diagnostik in der inklusiven Bildung«, legt den Fokus also auf Diagnostik. Das Team des Metavorhabens um Prof. Katzenbach und Prof. Urban wird sich vor allem der Einrichtung und Verstärkung einer Kontaktstelle für alle im Bildungswesen Beteiligten widmen. Zudem sollen Forschungsergebnisse sowie die von den Projekten entwickelten Produkte und Materialien Personen außerhalb der Wissenschaft zugänglich gemacht werden. Die vier Verbundprojekte mit Federführung der Goethe-Universität werden geleitet von Dr. Julia Gasterstädt und Prof. Vera Moser (Letztere leitet zwei Projekte), beide vom Institut für Sonderpädagogik, sowie Prof. Ilonca Hardy vom Institut für Pädagogik der Elementar- und Primarstufe.

<https://tinygu.de/Inklusion>

Kooperation mit FIAS

Die Goethe-Universität und das Frankfurt Institute for Advanced Studies (FIAS) werden von 2022 an gemeinsame Forschungsvorhaben und den wissenschaftlichen Austausch intensivieren. Dazu wurde im November ein neuer Kooperationsvertrag unterzeichnet. Seit der Gründung des FIAS im Jahr 2003 arbeiten Universität und Institut eng zusammen in der interdisziplinären Grundlagenforschung in den Natur-, Lebens-, Neuro- und Computerwissenschaften. »Der Vertrag gibt uns die Freiheit, noch stärker interdisziplinär zu forschen und unsere Projekte komplementär zu den Fragestellungen der beiden Partner zu gestalten«, kommentierte Universitätspräsident Prof. Enrico Schleiff den Schulterschluss. Geplant ist etwa, im Rahmen des Centers for Scientific Computing gemeinsam technische und inhaltliche Themen des Hochleistungsrechners in den Natur- und Lebenswissenschaften weiterzuentwickeln.

<https://tinygu.de/Kooperation>

Sandra Ciesek erhält zusätzliche Förderung für ihre Forschung – und den Hessischen Kulturpreis

Die Virologin Prof. Sandra Ciesek ist vom Land Hessen mit 1,4 Millionen Euro im Rahmen einer LOEWE-Spitzenprofessur ausgezeichnet worden. Mit diesen Mitteln und der großzügigen Förderung der Willy Robert Pitzer Stiftung wurde es möglich, die führende Medizinerin an der Goethe-Universität zu halten. Mit den Geldern wird eine weitere Professur am Institut für Medizinische Virologie finanziert, nach Ablauf von fünf Jahren finanziert die Stiftung weitere fünf Jahre mit 1,75 Millionen Euro. Darüber hinaus ist Sandra Ciesek für ihre Verdienste um die Wissenschaftskommunikation vom hessischen Ministerpräsidenten Volker Bouffier mit dem Hessischen Kulturpreis ausgezeichnet worden. Die Laudatio hielt ihr Kollege, der Virologe Prof. Dr. Christian Drosten von der Charité, mit dem zusammen Prof. Ciesek im Frühjahr als Hochschullehrer des Jahres ausgezeichnet wurde. Ciesek und Drosten gestalten gemeinsam den vielfach ausgezeichneten NDR-Podcast »Das Coronavirus-Update«. Dass Ciesek sich trotz viel-



Die Virologin Sandra Ciesek wurde vom Ministerpräsidenten mit dem Hessischen Kulturpreis geehrt.

facher Belastungen bereit erklärt habe, den Schritt in die Öffentlichkeit zu gehen, sei »ein großer Glücksfall«, so Drosten in seiner Laudatio. »Ihr gelingt es mit ihrem scharfen und abwägenden Blick, die Sachlage genau auf den Punkt zu bringen – und das mit der Zuwendung und Empathie, die sie als erfahrene Internistin mit langjährigem Patientenkontakt auszeichnet.«

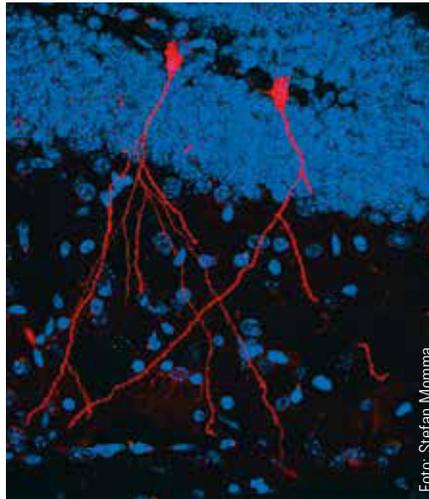
<https://tinygu.de/CiesekKulturpreis>

<https://tinygu.de/CiesekLOEWE>

Per Kapsel durch die Blutbahn

Bakterien im Darm verpacken Biomoleküle in Kapseln und schicken sie per Blutkreislauf in verschiedene Organe des Körpers, wo sie aufgenommen und verarbeitet werden. Dies hat jetzt ein Team von Forscherinnen und Forschern der Goethe-Universität sowie der Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg und der University of California in San Francisco erstmals nachgewiesen.

Schätzungen zufolge kommen auf jede menschliche Zelle 1,3 Bakterienzellen. Entsprechend groß ist die genetische Vielfalt. So haben alle Darmbakterien zusammen 150-mal so viele Gene wie der Mensch. Die Stoffwechselprodukte der Darmbakterien übernehmen im menschlichen Körper viele Funktionen: Sie trainieren Immunzellen, steuern Stoffwechselprozesse und regeln, wie häufig sich Zellen der Darmschleimhaut erneuern. Auf die Zellen der Darmschleimhaut wirken die bakteriellen Stoffwechselprodukte direkt. Wie aber gelangen sie in entfernte Organe wie Leber, Niere oder das Gehirn? Als Transportmittel wurden kleine Kapseln (Membranbläschen oder Vesikel) vermutet, die von Bakterien abgegeben werden. Ein internationales Wissenschaftsteam um Dr. Stefan Momma vom Neuroscience



Blick ins Gehirn der transgenen Maus: Rot leuchten die Nervenzellen, die ein Protein aus Darmbakterien aufgenommen haben.

Center der Goethe-Universität Frankfurt, Prof. Claudia Günther von der Universität Erlangen-Nürnberg und Prof. Robert Raffai von der University of California hat jetzt an Mäusen untersucht, wie Bakterien ihre Stoffwechselprodukte in solchen Vesikeln verteilen. Dazu wurde der Darm von Mäusen mit E.-coli-Bakterien besiedelt, die eine bestimmte Genschere produzierten (Cre) und

diese über Vesikel in die Umgebung abgaben. Die Mäuse besaßen in Körperzellen ein Gen für ein rotes Leuchtprotein, das durch die Genschere Cre aktiviert werden konnte (Cre/LoxP-System). Das Ergebnis: In der anschließenden Untersuchung des Mausgewebes waren die bakteriellen Stoffe von einzelnen Zellen des Darms, der Leber, der Milz, des Herzens und der Nieren sowie von Immunzellen aufgenommen worden. Sogar einzelne Nervenzellen des Gehirns leuchteten rot. Stefan Momma: »Besonders beeindruckend ist, dass die Vesikel der Bakterien auch die Blut-Hirn-Schranke überwinden und auf diese Weise in das ansonsten sehr gut abgeschottete Gehirn gelangen können. Und dass die bioaktiven Bakterienstoffe sogar von Stammzellen der Darmschleimhaut aufgenommen wurden zeigt uns, dass Darmbakterien womöglich sogar dauerhaft die Eigenschaften der Darmschleimhaut verändern können.« Die neu etablierte Forschungsmethode wird helfen, den Einfluss von Darmbakterien auf Krankheiten besser zu verstehen und könnte die Entwicklung innovativer Verabreichungsformen von Medikamenten oder Impfstoffen fördern.

<https://tinygu.de/Darmbakterien>

CERN: Erste Teilchenkollisionen nach Umbau unter Goethe-Uni-Beteiligung

Nach zehn Jahren Vorbereitung und drei Jahren Umbau hat der neue ALICE-Detektor am Teilchenbeschleuniger CERN in Genf erste Daten geliefert. Dabei hat sich gezeigt: Der Umbau, der unter anderem von Prof. Harald Appelhäuser von der Goethe-Universität geleitet wurde, war erfolgreich.

Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler aus 30 Ländern waren an dem Umbau beteiligt. Erforscht werden soll ein extrem heißer und dichter Materiezustand, wie er im Universum Mikrosekunden nach dem Urknall vorgeherrscht hat, ein sogenanntes Quark-Gluon-Plasma. Es entsteht, wenn Blei-Atomkerne aus dem großen LHC-Beschleuniger am CERN mit sehr großer Energie aufeinanderprallen und sich für einen kurzen Moment in ihre elementaren Bestandteile auflösen. Mit ALICE lassen sich Erkenntnisse darüber gewinnen, wie sich unser Universum, wie wir es heute kennen, einmal entwickelt hat. Die Genauigkeit der ALICE-Ergebnisse war bisher durch die Anzahl der Kollisionen begrenzt, die am LHC stattfanden



Der ALICE-Detektor entstand unter Beteiligung der Goethe-Universität.

den und von ALICE aufgezeichnet werden konnten. Der Umbau, der zehn Jahre lang vorbereitet wurde, unter anderem an der Goethe-Universität, hat die Möglichkeiten hierfür deutlich erweitert. Nach der erfolgreichen Generalprobe Ende November kann im nächsten Jahr die bis 2030 andauernde Messkampagne beginnen. »Dies ist ein wichtiger Meilenstein für die gesamte ALICE-Kollaboration«, freute sich Harald Appelhäuser, Professor am Institut für Kernphysik der Goethe-Universität.

<https://tinygu.de/ALICE-Detektor>

Goethe-Uni gehört zum nationalen Verbund Hochleistungsrechnen

Die Goethe-Universität ist seit Ende Oktober Teil des nationalen Verbunds zum Hochleistungsrechnen. Die Gemeinsame Wissenschaftskonferenz (GWK) hat den Verbund »NHR Süd-West« für zehn Jahre bewilligt. Das Projekt wird mit 124 Millionen Euro finanziert. Es umfasst die Länder Hessen, Rheinland-Pfalz und Saarland. Die beteiligten Hochschulen sind die Goethe-Universität, die Johannes Gutenberg-Universität Mainz, die Technische Universität Kaiserslautern und die Universität des Saarlandes in Saarbrücken. Für die weitere Entwicklung des Hochleistungsrechnens an der Goethe-Universität sind 45 Millionen Euro vorgesehen, der Eigenanteil liegt bei 30 Millionen Euro. Mit der Bewilligung hebt die GWK auch den hervorragenden Beitrag der Goethe-Universität im Bereich der Green IT hervor, den das Team um Prof. Volker Lindenstruth leistet.

<https://tinygu.de/Hochleistungsrechnen>

Neue Erkenntnisse zum Schwarzen Loch

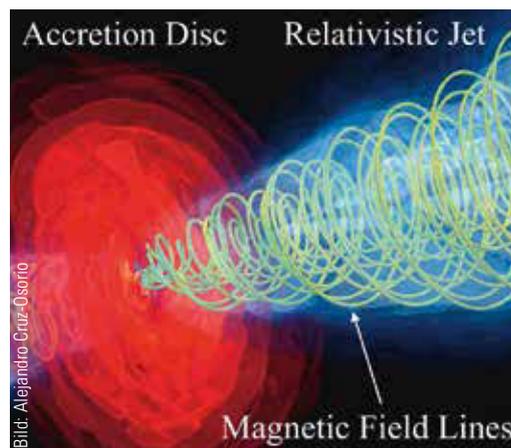
Nach aufwändigen Supercomputer-Berechnungen ist es Dr. Alejandro Cruz Osorio und Prof. Luciano Rezzolla von der Goethe-Universität gemeinsam mit einem internationalen Team gelungen, ein theoretisches Modell zur Entstehung des Jets der Riesengalaxie M87 zu entwickeln. Der Jet besteht aus einem gigantischen Teilchenstrahl, der von der Galaxie ausgestoßen wird. Die von dem Forscherteam berechneten Bilder stimmen außergewöhnlich gut mit den astronomischen Beobachtungen überein und bestätigen Einsteins Allgemeine Relativitätstheorie.

Die Galaxie Messier 87 (M87) liegt 55 Millionen Lichtjahre von der Erde entfernt im Sternbild Jungfrau, es ist eine Riesengalaxie mit 12 000 Kugelsternhaufen, gegen die die 200 Kugelsternhaufen der Milchstraße eher bescheiden wirken. Im Zentrum befindet sich ein Schwarzes Loch von 6,5 Milliarden Sonnenmassen. Dabei handelt es sich um das erste Schwarze Loch, von dem es ein Bild gibt, erstellt 2019 von der internationalen Forschungskollaboration Event Horizon Telescope.

Dieses Schwarze Loch stößt nahezu mit Lichtgeschwindigkeit einen Plasmastrahl aus,

einen sogenannten relativistischen Jet, der 6000 Lichtjahre misst. Die ungeheure Energie für diesen Jet stammt vermutlich aus der Anziehungskraft des Schwarzen Lochs. Doch wie genau ein solcher Jet entsteht und was ihn über diese riesige Entfernung stabilisiert, ist bislang nicht verstanden.

Theoretische Physiker der Goethe-Universität haben nun gemeinsam mit Forschern aus Europa, den USA und China die Region modelliert, aus der der Jet ausgestoßen wird, das Zentrum der sogenannten Akkretionsscheibe. Dabei nutzten sie ausgefeilte Supercomputer-Simulationen. Das Ergebnis war ein Modell, bei dem die berechneten Werte für Temperaturen, Materiedichten und Magnetfelder in hohem Maße mit den Werten übereinstimmen, die aus den astronomischen Beobachtungen errechnet wurden. Dies sei »eine weitere wichtige Bestätigung dafür, dass Einsteins Allgemeine Relativitätstheorie die genaueste und natürlichste Erklärung für die Existenz supermassereicher Schwarzer Löcher im Zentrum von Galaxien ist«, so Prof. Rezzolla.



Entlang der magnetischen Feldlinien werden die Teilchen so stark beschleunigt, dass sie aus der Galaxie M87 heraus einen Jet von 6000 Lichtjahren Länge bilden.

Auf dieser Basis gelang es den Wissenschaftlern, die komplexe Strahlungsbewegung in der gekrümmten Raumzeit im innersten Bereich des Jets zu modellieren und in Bilder des Radiowellenspektrums zu übersetzen. Diese computermodellierten Bilder konnten sie nun mit den Beobachtungen der vergangenen drei Jahrzehnte vergleichen.

<https://tinygu.de/RiesengalaxieM87>

Spitzensportler noch individueller fördern



Foto: Shutterstock/sportakimrika

Wie können Leistungssportler noch individueller gefördert werden? Das untersucht ein neues Projekt von Uni Gießen, Sporthochschule Köln und Goethe-Universität.

Wer im Spitzensport Erfolg haben will, muss konsequent und hart trainieren, mental bestens auf Wettkampfsituationen vorbereitet sein, Techniken beherrschen, auf die eigene Gesundheit achten und sich selbst sehr genau kennen. Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler der Justus-Liebig-Universität Gießen, der Goethe-Universität Frankfurt und der Deutschen Sporthochschule Köln haben sich jetzt im Forschungsverbund »Individualisierte Leistungsentwicklung im Sport« zusammengefunden, um den deutschen Spitzensport in den kommenden

Jahren wissenschaftlich zu begleiten. Das Konsortium wird das Thema aus unterschiedlichen fachlichen Perspektiven betrachten, um die Individualität der Leistungsentwicklung besser zu verstehen und zu erklären. Die Wissenschaftler werden dabei eng mit Trainern sowie Athletinnen und Athleten zusammenarbeiten. Das Bundesinstitut für Sportwissenschaft fördert das Projekt zunächst für vier Jahre mit insgesamt zwei Millionen Euro.

Die Goethe-Universität ist mit gleich zwei Teilprojekten beteiligt. Die Arbeitsgruppe Bewegungs- und Trainingswissenschaft um Prof. Dr. Karen Zentgraf nimmt vor allem die trainings- und bewegungswissenschaftliche Individualdiagnostik in den Blick. Die Informatikerin Prof. Lena Wiese arbeitet an einem Datenmanagementsystem. Um die komplexen, disziplinspezifischen Diagnostiken sowie die Trainings- und Wettkampfdaten der Fachverbände zusammenzuführen und auszuwerten, ist die Entwicklung eines integrierten Datenbanksystems vorgesehen.

<https://tinygu.de/Spitzensport>

Auch Princeton University und HEC Paris setzen auf LiveX

Zahlreiche europäische Spitzenuniversitäten haben sich bereits entschieden: Sie nutzen die Börsensimulation LiveX zur digitalen und interaktiven Wissensvermittlung zu Finanzmärkten und Wertpapierhandel. Neuerdings trainiert auch die führende Managementhochschule, HEC Paris, das Börsengeschehen für ihre Studierenden mit LiveX. Mit der Eliteuniversität Princeton University als zweite neue Nutzerin hat sich das Simulationsprogramm der Goethe-Universität erstmals auch am US-Markt etabliert.

Anders als einfache Börsensimulationsprogramme simuliert LiveX das reale Geschehen an den Wertpapiermärkten in seiner gesamten Komplexität. Es stellt dabei alle wichtigen Marktmodelle bereit. Damit ermöglicht LiveX Universitäten und Häusern in der Finanzindustrie, die Welt des Wertpapierhandels realitätsgetreu in der Ausbildung von Händlern, Mitarbeitern und Studierenden nachzuvollziehen.

<https://tinygu.de/LiveX>

IMPRESSUM

FORSCHUNG FRANKFURT
Das Wissenschaftsmagazin der Goethe-Universität



IMPRESSUM

Herausgeber Der Präsident der Goethe-Universität Frankfurt am Main
V.i.S.d.P. Dr. Olaf Kaltenborn, Leiter PR und Kommunikation
Theodor-W.-Adorno-Platz 1, Campus Westend, PA-Gebäude, 60323 Frankfurt

Redaktion Dr. Anke Sauter (asa), Referentin für Wissenschaftskommunikation
(Geistes- und Sozialwissenschaften), Telefon (069) 798-13066, E-Mail: sauter@pww.uni-frankfurt.de
Dr. Markus Bernards (mbe), Referent für Wissenschaftskommunikation
(Naturwissenschaften und Medizin), Telefon (069) 798-12498, E-Mail: bernards@em.uni-frankfurt.de

Grafisches Konzept und Layout Nina Ludwig, M.A., Visuelle Kommunikation,
Telefon (069) 798-13819, E-Mail: ludwig@pww.uni-frankfurt.de

Satz Nina Ludwig, Goethe-Universität Frankfurt und MEDIENwerkstatt Jung-Zulauf, Niddatal

Litho Peter Kiefer Mediendesign, Frankfurt

Bildrecherche Natalia Zajic, Goethe-Universität Frankfurt

Lektorat Astrid Hainich, Bonn

Vertrieb Helga Ott, Theodor-W.-Adorno-Platz 1, Campus Westend, PA-Gebäude,
Raum 4.P52, 60323 Frankfurt, Telefon (069) 798-12472, Telefax (069) 798-763-12531,
E-Mail: ott@pww.uni-frankfurt.de

Forschung Frankfurt im Internet www.forschung-frankfurt.de

Druck Societätsdruck, Westdeutsche Verlags- und Druckerei GmbH,
Kurfürstenstraße 4-6, 64546 Mörfelden-Walldorf

Bezugsbedingungen »Forschung Frankfurt« kann gegen eine jährliche Gebühr von 12 Euro
(Schüler und Studierende 8 Euro) abonniert werden. Das Einzelheft kostet 6 Euro (4 Euro ermäßigt).
Abonnement und Einzelverkauf siehe Vertrieb.

Für Mitglieder der Vereinigung von Freunden und Förderern der Johann Wolfgang Goethe-Universität
Frankfurt am Main e.V. sind die Abonnementgebühren für »Forschung Frankfurt« im Mitgliedsbeitrag
enthalten.

Hinweis für Bezieher von »Forschung Frankfurt« (gem. Hess. Datenschutzgesetz): Für Vertrieb und
Abonnementverwaltung von »Forschung Frankfurt« werden die erforderlichen Daten der Bezieher in
einer automatisierten Datei gespeichert, die folgende Angaben enthält: Name, Vorname, Anschrift
und Bezugszeitraum. Die Daten werden nach Beendigung des Bezugs gelöscht.

Die Beiträge geben die Meinung der Autoren wieder. Der Nachdruck von Beiträgen ist nach
Absprache möglich.

ABBILDUNGSNACHWEIS

Bis auf die Porträtfotos der Kästen »Die Autorin«, »Der Autor« und »Zur Person« sind die Bildnachweise
in den Bildern selber vermerkt.

Bewegung mit Folgen Tierwanderungen in der »Serengeti des Ostens« Seite 8: Uwe Dettmar;
Fliegender Sonnenschirm über den Ozeanen Seite 14: privat; Seite 15: Autorenfoto privat; Wenn
Tumorzellen wandern Seite 18: Uwe Dettmar; Seite 19: Autorenfoto Anja Störko.

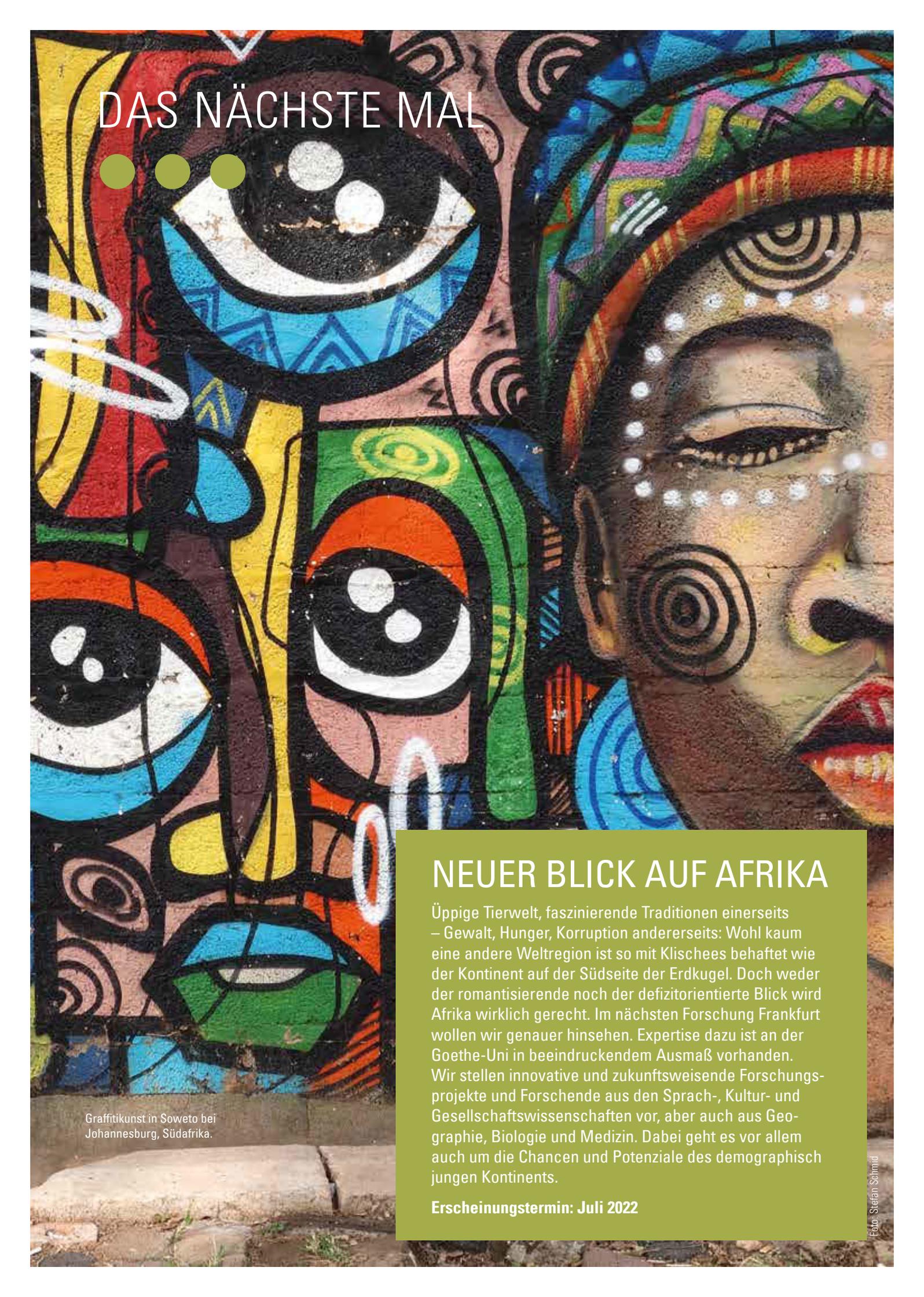
Schneller, immer schneller Die unbewegten Beweger Seite 22: Uwe Dettmar; Seite 24: Autorenfoto
privat; Videoerkennung: Ist es Kochen oder Winken? Seite 26: Jürgen Lecher; Schrödingers Katze
kitzeln; Seite 27: Autorenfoto Andreas Heddergott; Seite 30: Uwe Dettmar.

Der Mensch in Bewegung Kein Kinderkram Seite 36: Universitätsklinikum Frankfurt; Seite 37: Autoren-
foto Luise Aedtner; Was kann der Sport leisten? Seite 38: privat; Der Kampf gegen den Krampf
Seite 42: Uwe Dettmar; Seite 43: Autorenfoto Markus Vennen.

Bewegung mit Bedeutung Mit Händen Sprache formen Seite 47: Autorenfoto Uwe Dettmar;
Wildtierforschung im Arbeitszimmer Seite 53: Autorenfoto HU Berlin; Mobil produzieren, mobil
konsumieren Seite 57: Autorenfoto Uwe Dettmar.

Wir haben uns bemüht, die Urheber- und Nutzungsrechte für die Abbildungen zu ermitteln und deren
Veröffentlichungsgenehmigung einzuholen. Falls dies in einzelnen Fällen nicht gelungen sein sollte,
bitten wir die Inhaber der Rechte, sich an die Goethe-Universität, PR und Kommunikation, zu wenden.
Berechtigte Ansprüche werden selbstverständlich abgegolten.





DAS NÄCHSTE MAL



Graffiti-Kunst in Soweto bei Johannesburg, Südafrika.

NEUER BLICK AUF AFRIKA

Üppige Tierwelt, faszinierende Traditionen einerseits – Gewalt, Hunger, Korruption andererseits: Wohl kaum eine andere Weltregion ist so mit Klischees behaftet wie der Kontinent auf der Südseite der Erdkugel. Doch weder der romantisierende noch der defizitorientierte Blick wird Afrika wirklich gerecht. Im nächsten Forschung Frankfurt wollen wir genauer hinsehen. Expertise dazu ist an der Goethe-Uni in beeindruckendem Ausmaß vorhanden. Wir stellen innovative und zukunftsweisende Forschungsprojekte und Forschende aus den Sprach-, Kultur- und Gesellschaftswissenschaften vor, aber auch aus Geographie, Biologie und Medizin. Dabei geht es vor allem auch um die Chancen und Potenziale des demographisch jungen Kontinents.

Erscheinungstermin: Juli 2022

Hilfe für Journalisten und Journalistinnen in Afghanistan

Dieses Foto darf nicht das letzte sein*

Mit der Machtübernahme der Taliban regiert nun einer der größten Feinde der Pressefreiheit in Afghanistan. Reporter ohne Grenzen tut alles, um bedrohten Medienschaffenden vor Ort und im Exil zu helfen.

Spenden Sie jetzt für unsere Hilfsaktion:
reporter-ohne-grenzen.de/hilfe-fuer-afghanistan

Reporter ohne Grenzen e.V.

IBAN: DE26100900005667777080

BIC: BEVODEBB

Berliner Volksbank

Stichwort: „Afghanistan“



RSF REPORTER
OHNE GRENZEN

*Der Fotograf des Fotos bleibt zu seinem eigenen Schutz anonym. Er verließ Afghanistan im August 2021. Das Foto zeigt eine seiner letzten Aufnahmen aus Kabul.