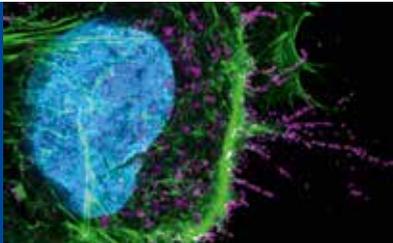




Verschlungene Wege

Wie der antike Handel zwischen China und Rom auf und fernab der Seidenstraße funktionierte



Visualisiert: Wirkung des Coronavirus in Zellen

> Seite 8



Detailgenau: Künstliche Intelligenz analysiert Handschriften

> Seite 12



Nachhaltig: Gärtnern in Theorie und Praxis

> Seite 44

uni'shop

Freiburg im Breisgau



Ökotex
Sportbeutel
1-farbiger Bio-Druck
6.90



Produkte finden Sie im Online-Shop:

www.shop.uni-freiburg.de
und in den Buchhandlungen Rombach und Walthari

Liebe Leserin,
lieber Leser,



Ich freue mich sehr, mich Ihnen als neue Rektorin der Universität Freiburg vorstellen zu dürfen. Die ersten Wochen meiner Amtszeit waren geprägt von der Corona-Pandemie, die uns mit großen Entbehrungen konfrontiert hat und noch längst nicht überstanden ist. Aber inmitten dieser Pandemie habe ich auch etwas Großartiges beobachtet: Die Universitäten haben bewiesen, wie resilient sie sind und welchen wichtigen Dienst sie für unsere Gesellschaft leisten. Forscherinnen und Forscher haben sich sehr schnell über Länder- und Disziplinengrenzen hinweg vernetzt und ihr Wissen geteilt, um Lösungen zu erarbeiten, von denen alle profitieren können. Ohne die Universitäten finden wir keine Antworten auf die Herausforderungen der Zukunft, sei es im Umgang zum Beispiel mit dem Klimawandel, der künstlichen Intelligenz oder eben mit Pandemien.

In der vorliegenden Ausgabe unseres Forschungsmagazins wollen wir Ihnen die breite Palette unserer Fachrichtungen zeigen: Trotz der Pandemie konnten unsere Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler ihre spannenden Projekte voranbringen und zu interessanten, neuen Erkenntnissen gelangen. Und in der Lehre haben unsere Dozentinnen und Dozenten gezeigt, mit welchen unterhaltsamen, lehrreichen Formaten sie fernab von Hörsälen und Seminarräumen Wissen vermitteln können – viele Ideen davon werden wir sicherlich auch in Zukunft, wenn wir wieder in Präsenz lehren und lernen dürfen, weiter umsetzen.

Ich wünsche Ihnen viel Freude bei der Lektüre.

Herzliche Grüße

Ihre


Prof. Dr. Kerstin Krieglstein
Rektorin der Albert-Ludwigs-Universität

Forschung

Netz der Seidenstraßen

Handel und Wirtschaft in der Antike und die Rolle der Grenzregionen

4

Bilder einer Infektion

Mikroskopaufnahmen zeigen die Wechselwirkung zwischen der Zelle und dem Virus SARS-CoV-2

8

Paradigmenwechsel in der Sprachwissenschaft

Mit Künstlicher Intelligenz auf der Suche nach linguistischen Gesetzmäßigkeiten

12

Was vom Regenwasser übrig bleibt

Voraussagen über verfügbare Grundwasserreserven und deren Erneuerungsrate in Karstgebieten

16

Gesetzhüter einer offenen Gesellschaft

Forschende untersuchen den Umgang mit Differenz in den deutschen Polizeien

20

Das Design der Elementarzelle

Metamaterialen sollen sich anpassen, dazulernen oder sich selbst heilen

24

Die Ampel im Gehirn

Mit Optogenetik lässt sich das Zusammenspiel bei Bewegungsabläufen aufdecken

28

Diamanten aus dem Labor

Künstliche Kristalle für kleine und hochempfindliche Sensoren

32

Ein Stern und seine Varianten

Die Suche nach der besten Form der gendergerechten Sprache

36

Lehre

Fortbildung im Netzwerk

In einem offenen Onlinekurs zum Thema Bioökonomie wurde Wissen nachhaltig geteilt

40

Nachhaltiges Gärtnern

Studierende arbeiten sich in die Grundlagen der Landwirtschaft ein

44

Die Dekolonisation des Wissens

Das Thema Flucht und Migration aus verschiedenen Blickwinkeln

48

Netz der Seidenstraßen

Handel und Wirtschaft in der Antike und die Rolle der Grenzregionen

von Sarah Schwarzkopf

Si e wurde geraubt, getauscht, geschenkt: Seide gelangte über viele Wege aus Asien in den Mittelmeerraum. Die frühere Vorstellung, Karawanen hätten Luxusartikel über eine lange Handelsroute von China direkt bis nach Rom transportiert, um sie dort teuer zu verkaufen, ist jedoch ein Mythos. Ein Forschungsprojekt der Historikerin Prof. Dr. Sitta von Reden vom Seminar für Alte Geschichte der Universität Freiburg wirft einen genauen Blick auf das, was im 19. Jahrhundert als „Seidenstraße“ bekannt wurde: ein komplexes Netz von Austauschprozessen, das große Teile des asiatischen und europäischen Kontinents überspannte.

Zur Zeit des Römischen Reichs flossen Waren in großer Zahl von China nach Rom, um die dortige Elite zu versorgen – vor allem mit Seide und weiteren Luxusgütern. Was immer schon bekannt war, erforschte der Geograf Ferdinand von Richthofen 1877 unter dem Namen „Seidenstraße“. Er rekonstruierte mithilfe antiker Quellen die Wege, über die die Waren von der früheren chinesischen Hauptstadt Chang'an bis nach Rom gelangten: über die Taklamakan-Wüste und das Pamirgebirge nach Zentralasien und in die Levante, dann über Kleinasien und die östliche Mittelmeerküste. „Es

handelt sich bei der ‚Seidenstraße‘ um ein koloniales Konzept“, erklärt von Reden. „Eine für von Richthofen mitschwingende Frage war, wie man China als Kolonialreich erschließen kann.“ Dem lag die Vorstellung zugrunde, dass der Mittelmeerraum in einem ökonomischen Abhängigkeitsverhältnis zu China stand: In Rom bestand Nachfrage nach Seide, China lieferte sie. „Auch typisch kolonial: Die ganzen Zwischenräume – die Steppe, der Iran und andere riesige Gebiete – bleiben in dieser Darstellung im Dunkeln“, ergänzt die Historikerin. „Von Richthofen interessiert nur das chinesische und das Römische Reich. Alle anderen Zivilisationen sieht er nur als Transitzone.“

Keine Straße, sondern ein Netzwerk

Von Redens Forschungsprojekt möchte die Straßenmetapher überwinden und die Handelsverbindungen als ein Netzwerk von Tauschsystemen betrachten. „Die ‚Seidenstraße‘ ist zu einfach gedacht“, erklärt von Reden. Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler schreiben den Begriff daher heute immer in Anführungszeichen. „Unsere Frage war: Was erzählt man alternativ? Wie war es wirklich?“, sagt die Freiburger Forscherin. Der

Jenseits der Wege: Forschende untersuchen, wie die Wirtschaft in den Jahren zwischen 300 vor und 300 nach Christus zwischen China und Rom funktionierte.

Foto: Wang/stock.adobe.com

den mittelasiatischen Raum zuständig ist, eine Historikerin, die sich auf den Ostmittelmeerraum spezialisiert hat, ein Historiker mit einem Fokus auf der römischen Perspektive und eine Indologin. Das tägliche Zusammenspiel von sechs Fachrichtungen ist eine methodische Besonderheit. „Die Geschichte der ‚Seidenstraße‘ haben bisher einzelne Wissenschaftler geschrieben, die entweder griechisch-römische Althistoriker sind oder Sinologen“, sagt von Reden. „Beide können den Raum aber gar nicht überblicken, da ihnen die fachliche Expertise dazu fehlt. Ich kann zwar die Forschungsliteratur über China lesen, aber das chinesische Quellenmaterial nicht interpretieren.“ Herauskommen soll bis 2022 ein dreibändiges Handbuch, das die Forschung fächerübergreifend zusammenfasst. Der erste Band behandelt die Quellen und die Geschichtsschreibung der einzelnen Gebiete. Im zweiten Band wird es darum gehen, wie die Wirtschaft in diesen Imperien jeweils funktionierte und wie Güter in die abgelegenen Grenzregionen kamen. Der dritte Band beschäftigt sich mit den Grenzzonen und den dortigen Austauschprozessen.

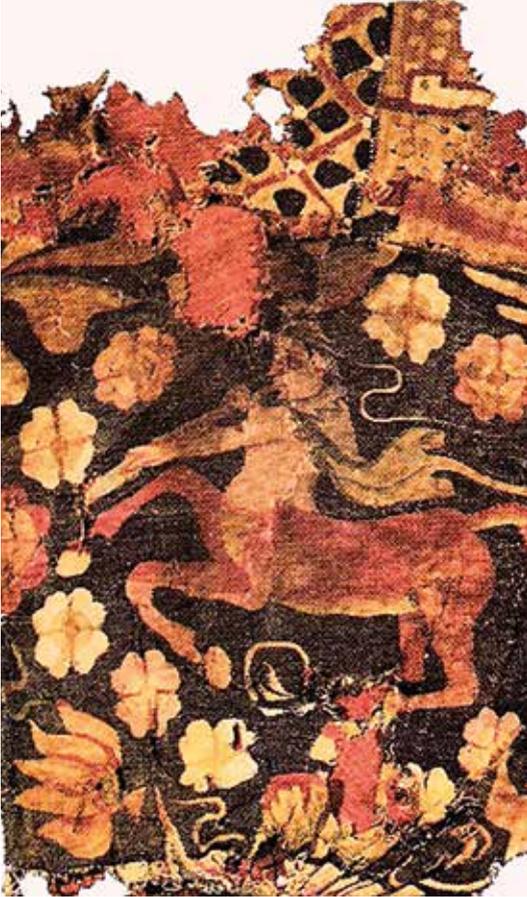
Name ihres vom Europäischen Forschungsrat geförderten Projekts „Jenseits der Seidenstraße“ ist daher bewusst gewählt, denn es beschäftigt sich eben nicht nur mit der klassischen „Seidenstraße“, sondern auch mit all dem, was noch dazugehört. Von Redens Team untersucht, wie die Wirtschaft in den Jahren zwischen 300 vor und 300 nach Christus in den verschiedenen Gebieten funktionierte. Der Fokus liegt dabei auf der Erforschung von interimperialen Grenzregionen, also Regionen, die sich nie dauerhaft dem einen oder dem anderen Imperium zugehörig fühlten.

Diplomatischer Warenaustausch

Das Projekt möchte die Perspektive von den Metropolen zu den Grenzgebieten der Reiche verschieben. Die Annahme der Forschenden ist, dass die Grenzzonen die für Austauschprozesse zwischen Imperien zentralen Gebiete waren. China tauschte nicht deshalb Waren mit Zentralasien, weil in Rom Nachfrage danach bestand oder weil Menschen in Chang'an etwas verschiffen, transportieren oder verkaufen wollten. Letztlich waren immer die Austauschprozesse an den Grenzen entscheidend für die Frage, welche Güter sich von A nach B bewegten. Grund dafür, dass so viel Seide nach Rom gelangte, waren beispielsweise die Xiongnu-Hirtengesellschaften in der an China angrenzenden Steppe, erklärt von Reden. Damit sie nicht ins Land einfielen und Raubzüge unternahmen, forderten sie Tribute. Dazu gehörte auch Seide. Ballenweise Seide brachten die Chinesen den Khans – den Herrschern – der Xiongnu auf ihren diplomatischen Reisen mit, und die Xiongnu wiederum schenkten den Chinesen Pferde. Auch Frauen schenkte man in beide Richtungen. „Das war kein Handel,

„Die ‚Seidenstraße‘ ist zu einfach gedacht“

„Jenseits der Seidenstraße“ läuft fünf Jahre und ist das erste Projekt, das den gesamten eurasischen Raum zur Zeit der Antike fächerübergreifend zu überblicken versucht. In von Redens Team arbeiten Spezialistinnen und Spezialisten für die verschiedenen Regionen eng zusammen: eine Sinologin, eine Archäologin mit dem Schwerpunkt Zentralasien, eine Anthropologin, die für



Textilien aus Seiden und Wolle wie diese Funde aus Westchina kamen als Waren in großer Zahl nach Rom, um die dortige Elite zu versorgen. Abbildung: https://en.wikipedia.org/wiki/Sampul_tapestry

sondern ein diplomatischer Geschenkaustausch“, stellt von Reden klar: „Die Xiongnu bekamen so viel Seide, dass sie ganze Städte damit hätten ausrollen können. Das war ihnen aber nicht so wichtig.“ Sie schenkten sie weiter oder tauschten sie gegen andere Dinge ein, die sie gebrauchen konnten. Auf diese Weise kam die Seide nach Zentralasien und weiter in westliche Gebiete, und zwar in unterschiedlichen Formen des Austauschs – zum Teil durch Diplomatie, zum Teil durch Handel, zum Teil als Beute.

„Handel war nicht geplant, eher eine Begleiterscheinung“

Solche Abläufe rekonstruieren die Wissenschaftler mithilfe schriftlicher und archäologischer Quellen. „Das macht unsere Forschung auf verschiedene Weisen herausfordernd. In Rom und China gab es Geschichtsschreibung. In anderen Bereichen ist die Quellenarbeit ein mühsamer Prozess“, erklärt von Reden. Ähnliches gilt für den Forschungsstand: Zur römischen Wirtschaft gibt es bereits sehr viel Literatur, die die Forscherinnen und Forscher einbeziehen müssen. „Hingegen hat

bisher niemand wirtschaftliche Strukturen in Zentralasien untersucht, da der Bereich bisher als Transitzone auf der ‚Seidenstraße‘ galt. Dazu müssen wir zunächst grundlegende Forschung betreiben.“

Aufwertung von Grenzzonen

Auch wie die Güter überhaupt zu den Grenzzonen gelangten, untersuchen die Wissenschaftler in ihrem Projekt. „Wie kamen Händler mit ihren Kamelen durch unwegsames Gebiet? Das ist eine komplizierte Frage.“ Meistens sind Grenzregionen nicht besonders dicht besiedelt, liegen in den Bergen oder in der Wüste – deshalb sind es Grenzzonen. Während sich große Städte häufig in gut angeschlossenen und fruchtbaren Gebieten befinden, liegen Grenzzonen meistens in strukturschwachen Regionen. Das Projekt erforscht die Prozesse, die zur Bewegung von Gütern und zur Erschließung dieser Grenzgebiete führten. Die Wissenschaftler arbeiten mit der These der Reichsbildung: Wenn sich Imperien ausdehnten, kamen Truppen an die Grenzen. Dafür wurden die Grenzgebiete erschlossen: Routen wurden befestigt, Bauwerke für die Wasserversorgung und den Schutz der Durchreisenden errichtet. „Unser Projekt zeigt, dass die zentrale Voraussetzung für die Versorgung von Grenzgebieten veränderte Wirtschaftsstrukturen sind“, erläutert von Reden. „Um die Austauschprozesse auf der ‚Seidenstraße‘ im globalen Kontext zu verstehen, müssen wir daher Reichsbildung und Prozesse an den Grenzzonen verstehen.“ Ein Beispiel dafür ist die östliche Wüste am Roten Meer in Ägypten. „Das ist eine hochtrockene Zone, in der Menschen, die dort nicht geboren sind, nicht überleben können“, sagt von



Die östliche Wüste Ägyptens unter römischer Herrschaft im 2. Jahrhundert nach Christus war ebenfalls an das asiatische Handels- und Tauschnetz angebunden.

Abbildung: Peter Palm



Prof. Dr. Sitta von Reden studierte Geschichte, Latein und Volkswirtschaftslehre an den Universitäten Freiburg, Berlin und Cambridge/England. 1992 wurde sie an der Universität Cambridge in Alter Geschichte promoviert und begann eine Lehrtätigkeit an der Universität Bristol/England. 2005 habilitierte sich von Reden an der Universität Augsburg. Seit 2010 ist sie Professorin für Alte Geschichte an der Albert-Ludwigs-Universität. Sie lehrt zusätzlich am University College Freiburg und im Masterstudiengang Interdisziplinäre Anthropologie. Seit 2017 ist von Reden Projektleiterin des vom European Research Council geförderten Projekts „Beyond the Silk Road“. Zu ihren Forschungsschwerpunkten gehören neben griechischer Geschichte die antike Wirtschafts- und Globalgeschichte, das hellenistische Ägypten und die politische Kultur Griechenlands und Athens.

Foto: Olaf Pascheit

Reden. „Man kann keine Landwirtschaft und keine Viehzucht betreiben – es ist vor allen Dingen heiß.“ Nach der Eroberung Ägyptens durch Alexander den Großen bauten die Ptolemäer dort erstmals dauerhafte Hafenstädte, die sich aber nicht selbst versorgen konnten. Die Römer erschlossen dann die Wüste. Sie betrieben Bergbau und verbesserten die Infrastruktur, bauten Brunnen und Forts, in denen man sich unterwegs aufhalten konnte, und hielten sie instand. Soldaten schützten die Wege vor feindlichen Angriffen, Schiffe versorgten die Hafenstädte mit Lebensmitteln und anderen Gütern. Erst dieser besondere Schutz und die Verbesserung der Infrastruktur öffneten dem Handel in der östlichen Wüste die Türen. Es entwickelte sich ein Handelsverkehr von Südindien bis Ägypten und von dort aus nach Alexandria und Rom. Dadurch konnten große Reichtümer über verschiedene Stationen nach Rom gelangen, beispielsweise Elfenbein aus Afrika und Gewürze aus Arabien.

Indien und Ägypten liegen zwar abseits der Landwege der „Seidenstraße“, waren aber über das Meer ebenfalls an das asiatische Handels- oder Tauschnetz angebunden. Die Erschließung der östlichen Wüste war also notwendig, damit Handel überhaupt möglich wurde. Auch abseits der Grenzgebiete war die staatliche Förderung der Infrastruktur zentral für die Entstehung von Handel. So unterhielten in Kontinentalasien die Perser ein ausgebautes Straßennetz mit Wasserversorgung, Stationen und Meilensteinen. Grund dafür war nicht der Handel, sondern waren diplomatische Reisen des Königs, Truppenbewegungen, der Transport von Arbeitergruppen und die Versorgung von Garnisonen. Die Imperien pflegten die Infrastruktur aufgrund staatlicher Interessen, fasst von Reden zusammen: „Handel war nicht geplant, eher eine Begleiterscheinung. Der Handel konnte kommen, als die Infrastruktur da war.“

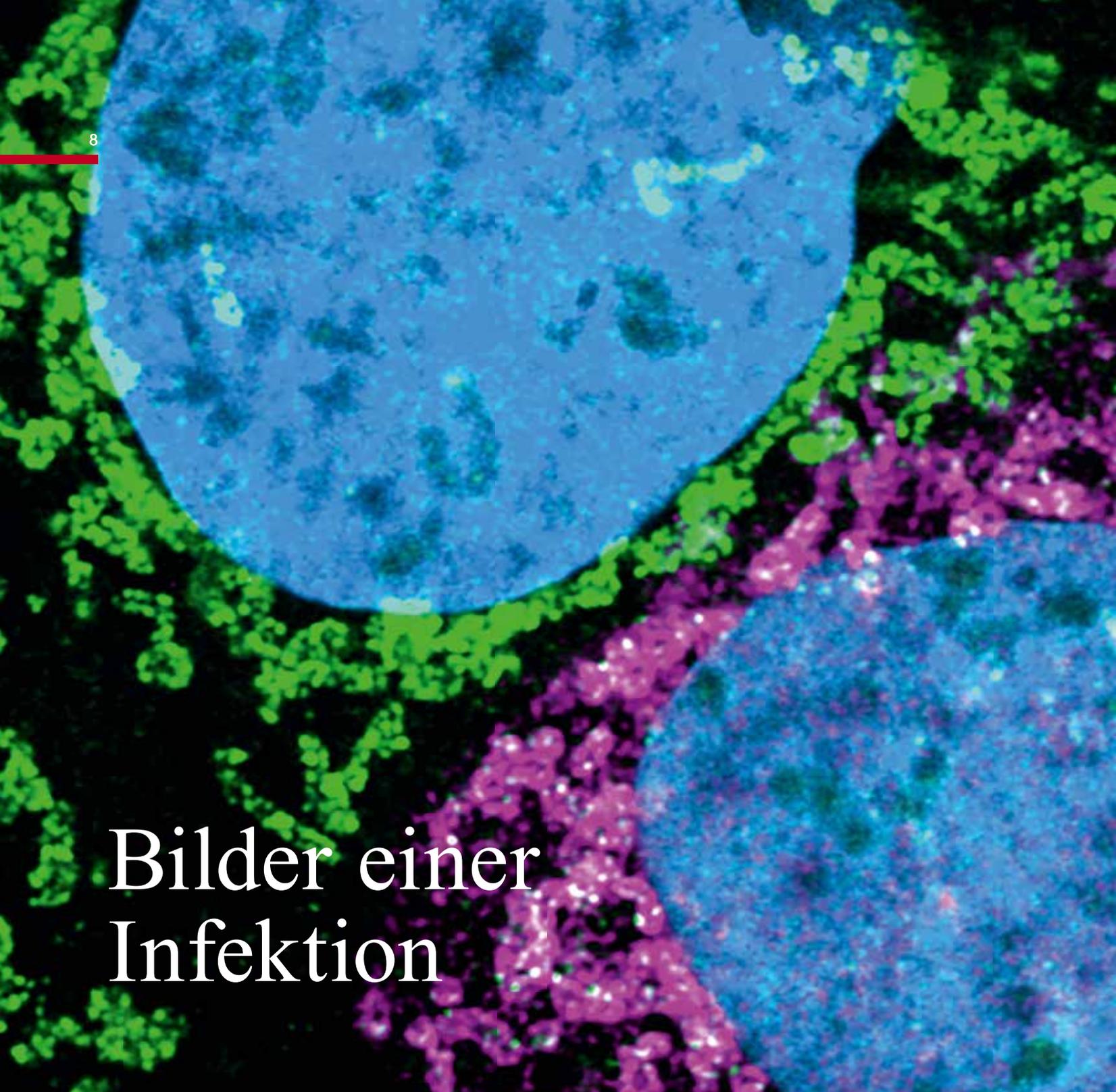
www.basar.uni-freiburg.de

Zum Weiterlesen

von Reden, S. (Hrsg.) (2019): Handbook of ancient Afro-Eurasian economies. Berlin, Boston. DOI: 10.1515/9783110607741

Osterhammel, J. (1987): Forschungsreise und Kolonialprogramm: Ferdinand von Richthofen und die Erschließung Chinas im 19. Jahrhundert. In: Archiv für Kulturgeschichte, 69, S. 150–195.

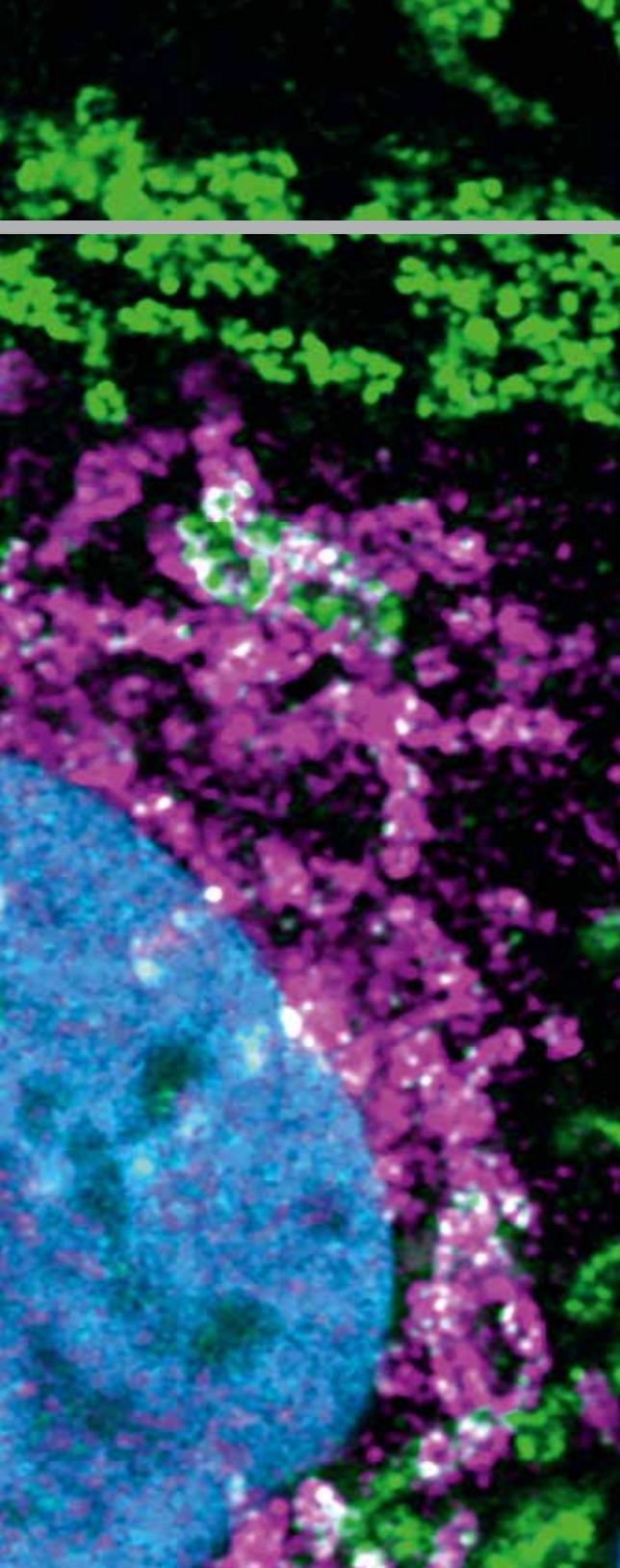
Rezakhani, K. (2010): The road that never was: the Silk Road and trans- Eurasian exchange. In: Comparative Studies of South Asia, Africa and the Middle East, 30/3, S. 420–433. DOI: 10.1215/1089201X-2010-025



Bilder einer Infektion

Mikroskopaufnahmen zeigen die Wechselwirkung
zwischen der Zelle und dem Virus SARS-CoV-2

von Stephanie Streif



Die Mitochondrien sind die Hauptenergieversorgungszentren der Zellen. SARS-CoV-2, dessen Virusprotein ORF9b hier lila ist, scheint jedoch das mitochondriale TOM70-Protein (grün) zu verringern.

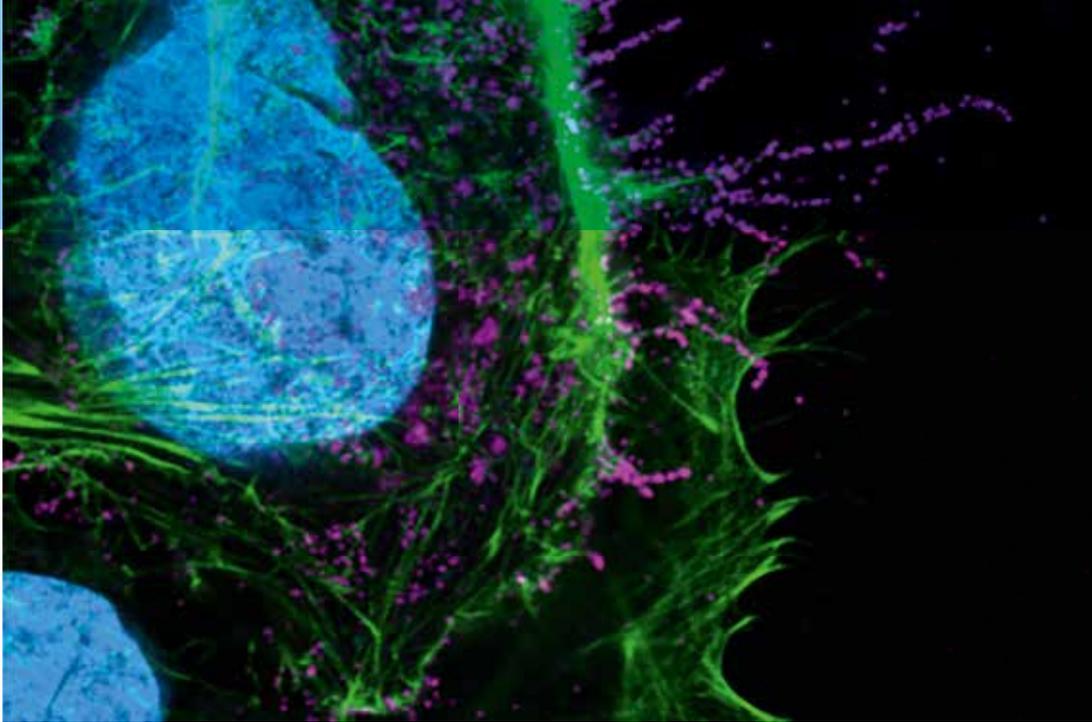
Abbildung: Svenja Ulferts und Robert Grosse

In den vergangenen Monaten wurde viel darüber berichtet, wie Coronaviren in den menschlichen Körper eindringen: Sie werden über die Atemluft eingesogen und schleusen sich dann über die Rezeptoren der Rachenzellenhülle in die menschliche Zelle ein. Dort vermehrt sich das Virus, indem es die umliegenden Zellen dazu bringt, neue Viren zu produzieren. Wie SARS-CoV-2 die Strukturen der Zelle im Innern manipuliert, konnte Prof. Dr. Robert Grosse vom Institut für Experimentelle und Klinische Pharmakologie und Toxikologie zusammen mit seinem Team mithilfe eines Laser-Scanning-Mikroskops visualisieren. Die Aufnahmen veröffentlichte er im Rahmen zweier groß angelegter internationaler Studien.

Das Zellskelett – jene Struktur, die eine Zelle stabil, aber auch beweglich hält – ist seit Jahren der Forschungsgegenstand des Freiburger Wissenschaftlers. Er untersuchte unter anderem, wie die Viren HIV und Vaccinia das Zellskelett verändern. Mit SARS-CoV-2 bekam Grosse nun plötzlich einen neuen Untersuchungsgegenstand. Zusammen mit seiner Doktorandin Svenja Ulferts begann er im März mit der Arbeit. Unterstützt wurden sie von Sebastian Weigang, der am Institut für Virologie promoviert. Bald nachdem Grosses Team die ersten mikroskopischen Fotos gemacht hatte, trat es einer internationalen Forschungsgruppe bei, die mit einer großen Studie begonnen hatte. Ihre Aufmerksamkeit gilt dem SARS-CoV-2-Virus sowie der Proteinkinase Caseinkinase II, kurz CK2. Das Virus aktiviert dieses eine Enzym in der Zelle auffällig stark. Wie stark, zeigen die Aufnahmen aus Grosses Labor.

SARS-CoV-2 verändert Zellstrukturen

Auf den Mikroskopie-Analysen sind feine Linien – Grosse nennt sie „Straßen“ – zu erkennen, die von der Zelle wegführen und sich am oberen Ende verzweigen. „Das Virus verändert das Aktingerüst der Zelle, zieht es an der einen oder anderen Stelle auseinander“, sagt Grosse. Noch sei unklar, welche Funktion diese Strukturen haben. Es hat aber den Anschein, als würden auf diesen Straßen Virus und CK2 aus der Zelle heraustransportiert. Bislang könne man nur nachweisen, dass CK2 in diesen Strukturen enthalten sei und mit den Virusproteinen kolokalisiert, dass es also eine biochemische Verbindung gibt. Grosses Befund wird durch Aufnahmen gestützt, die eine Kollegin



Diese humane Darmepithelzelle ist mit dem SARS-CoV-2 Virus infiziert.

*Abbildungen: Svenja Ulferts
und Robert Grosse*

in den USA zeitgleich zu seinem Team mit einem Elektronenmikroskop angefertigt hat: „Auf diesen hochauflösenden Aufnahmen sieht es so aus, als würde das Virus die Zelle tatsächlich verlassen“, sagt Grosse, ergänzt aber: „Mehr als eine Vermutung ist das erst einmal nicht.“ Schließlich arbeitet man mit Momentaufnahmen und nicht mit Filmen, die einen Verlauf dokumentieren können.

Das Zusammenspiel von Zelle, Virus und CK2 ist ein möglicher Ansatzpunkt für die Therapie von Patientinnen und Patienten mit Covid-19. Darin liege auch die Hauptleistung der Studie, so Grosse. In einem ersten Schritt sei untersucht worden, welche Kinasen in der mit SARS-CoV-2 infizierten Zelle besonders aktiviert werden, um dann Substanzen zu listen, die eben diese Kinasen hemmen. Einige dieser pharmakologischen Hemmstoffe werden bereits in klinischen Studien getestet, allerdings nicht in Zusammenhang mit Covid-19, sondern vor allem bei der Behandlung von Tumorerkrankungen. Sollte sich tatsächlich herausstellen, dass CK2 für die Ausbildung der verzweigten Straßen verantwortlich ist und das Virus über sie in benachbarte Zellen gelangt, könnte man diesen Prozess mit den richtigen Hemmern möglicherweise unterbinden. In dieser Richtung will Grosse weiterforschen: Er und sein Team testen nämlich mehrere Methoden, um CK2 möglichst klein zu halten. Außerdem wollen sie versuchsweise andere durch das Virus aktivierte Enzyme hemmen, die die Aktinfasern im Zellskelett polymerisieren, also auseinanderziehen.

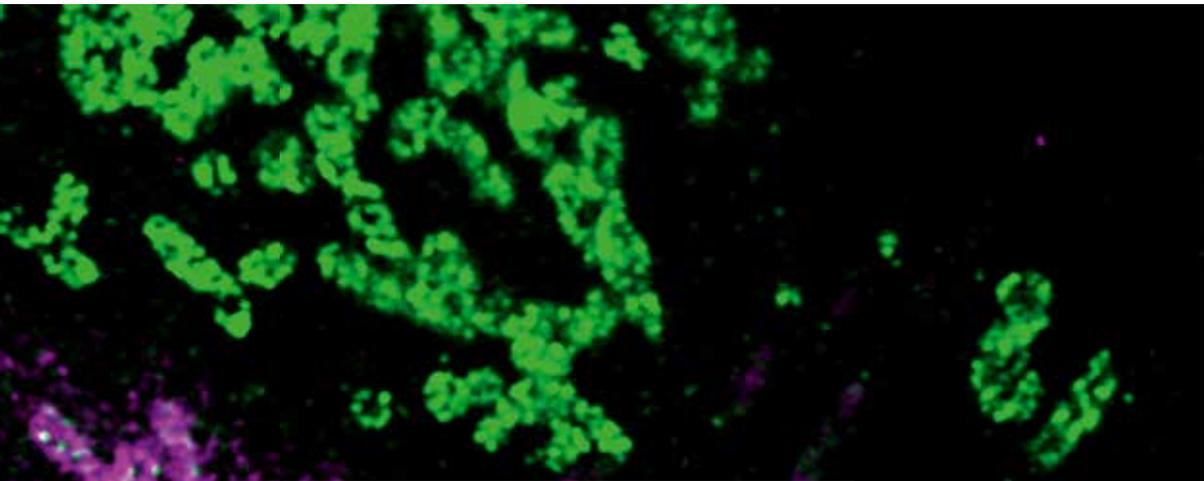
Vergleich mit anderen Coronaviren

SARS-CoV-2 wird aber auch andernorts aktiv. Um die Interaktion zwischen Virus und Zelle noch besser zu verstehen, hat Ulferts im Rahmen der in „Science“ veröffentlichten zweiten Studie einen Großteil der viralen Proteine unter die Linse

genommen und akribisch dokumentiert, wo diese nach der Infektion lokalisieren und kolokalisieren. „Wir wollten verstehen, welche zellulären Strukturen von dem Virus angegriffen werden“, erklärt Grosse. Dort, davon könne man ausgehen, komme es auch zu einer Interaktion. Die so generierten Aufnahmen der viralen Proteinlokalisierung wurden nicht nur gelistet, sondern mit den Bildmustern von MERS-CoV und SARS-CoV-1, den beiden anderen Coronavirus-Erkrankungen, verglichen. Die Forschenden hatten auf „irgendwelche sichtbaren Unterschiede“ gehofft, aus denen sich Hinweise auf die hohe Infektiosität des neuen Coronavirus ergeben hätten. Die habe man aber leider nicht gefunden.

„Ganz offensichtlich manipuliert das Virus die menschliche Mitochondrienfunktion“

An anderer Stelle wurden sie allerdings fündig: Auf einer der vielen Aufnahmen leuchtet auf schwarzem Hintergrund viel Grün und Magenta. Das mit dem Mikroskop festgehaltene Bildmuster zeigt, wie das magentafarben eingefärbte Virusprotein ORF9b zusammen mit den grün eingefärbten Mitochondrien eine Schlauchstruktur ausbildet. Die Mitochondrien sind die Hauptenergieversorgungszentren der Zellen. Grosse nennt sie „Power Houses“ und führt aus, dass das Virus ein in der mitochondrialen Membran sitzendes Protein, das sogenannte TOM70-Protein, verringere. Auch das analysiert die in „Science“ veröffentlichte Studie. Dieses Feld habe allerdings nicht sein Team bearbeitet, so Grosse, sondern die University of California in San Francisco. „Ganz offensichtlich manipuliert das Virus die menschliche Mitochondrienfunktion.“ TOM70 komme dabei eine Schlüsselrolle zu. So wurde von anderen Forschern bereits beschrieben, dass TOM70 an der antiviralen Immunantwort beteiligt sein könnte.



So interessant diese durchfotografierte Mechanik auch sein mag: Ein Drug Target, also eine Zielstruktur für Wirkstoffe, ist sie wahrscheinlich nicht. Der Grund: Die Mitochondrien sind für die Zelle zentral, deshalb ist das Risiko, mit einem pharmakologischen Eingriff den gesamten Organismus lahmzulegen, viel zu groß. An anderer Stelle allerdings – auch das ist ein Ergebnis, das im Rahmen dieser Studie von einem beteiligten Team zutage gefördert wurde – lässt sich das Virus vielleicht einfacher hemmen. „An der Membranoberfläche des endoplasmatischen Retikulums der Zelle sitzt der sogenannte Sigma-1-Rezeptor“, erklärt Grosse. „Wird dieser entfernt, sinkt die Zahl der infizierten Zellen im Laborexperiment.“ Noch gibt es keine spezifische Substanz, die nur diesen einen Rezeptor ausschaltet. Es gibt aber Präparate – Antidepressiva oder Antipsychotika zum Beispiel –, deren Wirkstoffe nebenbei auch an diesen Transmembranrezeptor binden und damit hemmen. „Pharmakologisch ist das interessant“, sagt Grosse. Nichtsdestotrotz bewege man sich mit der Studie noch immer im Bereich der Grundlagenforschung, nicht der angewandten Forschung. Es bleibt also spannend.



Prof. Dr. Robert Grosse hat am Pharmakologischen Institut der Freien Universität Berlin studiert und wurde dort promoviert. Als Postdoktorand wechselte er 2000 an das Research Institute London/England, wo er knapp drei Jahre arbeitete, bevor er zum Pharmakologischen Institut der Universität Heidelberg wechselte. Dort war er Gruppenleiter im Rahmen des Emmy-Noether-Programms der Deutschen Forschungsgemeinschaft. 2009 übernahm er eine Professur und wurde Direktor am Pharmakologischen Institut der Universität Marburg. Zehn Jahre später wechselte er nach Freiburg. An der Albert-Ludwigs-Universität ist er Professor für Pharmakologie und Toxikologie und Direktor der Abteilung I des Instituts für Experimentelle und Klinische Pharmakologie und Toxikologie. Er ist Mitglied im Exzellenzcluster CIBSS – Centre for Integrative Biological Signalling Studies. Einer seiner Forschungsschwerpunkte ist die Dynamik des Zellskeletts.
Foto: Jürgen Gocke

Zum Weiterlesen

Bouhaddou, M., Memon, D., Meyer, B., White, K. M. et al. (2020): The global phosphorylation landscape of SARS-CoV-2 infection. In: *Cell*, 182, S. 685–712. DOI: 10.1016/j.cell.2020.06.034

Gordon, D. E., Hiatt, J., Bouhaddou, M., Rezelj, V. V., Ulferts, S. et al. (2020): Comparative host-coronavirus protein interaction networks reveal pan-viral disease mechanisms. In: *Science*. DOI: 10.1126/science.abe9403

Plessner, M., Grosse, R. (2019): Dynamizing nuclear actin filaments. In: *Current Opinion in Cell Biology*, Volume 56. DOI: 10.1016/j.ccb.2018.08.005

Paradigmenwechsel in der Sprachwissenschaft

Mit Künstlicher Intelligenz auf der Suche nach
linguistischen Gesetzmäßigkeiten

von Jürgen Reuß

Selbst Inschriften auf Birkenrinden können Forschende nun anhand der großen, durch den Einsatz von Künstlicher Intelligenz gewonnenen Datenmengen neu einordnen und bewerten.

Foto: Birkenrinde Nr. 366/Gramoty.ru

Forschende der Slavistik unterstützen in Freiburg und Moskau einen möglichen Paradigmenwechsel in der Sprachwissenschaft: Prof. Dr. Achim Rabus vom Slavischen Seminar der Universität Freiburg arbeitet gemeinsam mit seinem Kollegen Prof. Dr. Alexander Moldovan und seiner Kollegin Dr. Yana Penkova vom Institut für Russische Sprache der Russischen Akademie der Wissenschaften in Moskau an dem Projekt „Digitale Paläoslavistik“, das von der Alexander-von-Humboldt-Stiftung unterstützt wird. Bei dem Projekt geht es darum, alte slavische Handschriften aus dem 11. bis 17. Jahrhundert mithilfe neuer, von Künstlicher Intelligenz (KI) unterstützter Computerprogramme digital so zu erfassen, dass die Zugriffsmöglichkeiten der Sprachwissenschaftlerinnen und Sprachwissenschaftler auf diese Texte quantitativ wie qualitativ enorm erweitert werden. Dieser Qualitätssprung gelingt durch einen doppelten Einsatz von KI: In einem ersten Durchgang werden die Handschriften KI-unterstützt transkribiert, und in einem zweiten werden durch eine andere KI grammatikalische Informationen sowie Informationen zu den Wortarten hinzugefügt. Für die Slavistik wird diese Erfassung ein echter Meilenstein sein. Denn die Rolle des Kirchenslavischen, in dem eine Vielzahl von Manuskripten aus dem Zeitraum zwischen Mittelalter und früher Neuzeit verfasst ist, kann für den slavisch-orthodoxen Bereich gar nicht hoch genug eingeschätzt werden.

Die Rolle des Kirchenslavischen

„In der westlichen Kultur des Mittelalters dominierte das Lateinische“, erklärt Rabus, „aber überall dort, wo heute kyrillisch geschrieben wird, war das nicht der Fall. In der slavisch-orthodoxen Welt herrschte eine andere lingua sacra als heilige Kultursprache, nämlich das Kirchenslavische, vor.“ Es ist die älteste slavische Schriftsprache, deren Entwicklung mit der Christianisierung begann. Das Kirchenslavische geht auf das im 9. Jahrhundert missionierende byzantinische Brüderpaar Kyrill und Method zurück und ist bis heute prägend für Länder wie Bulgarien, Russland, Belarus und die Ukraine. Der große Einfluss der in dieser Sprache abgefassten Manuskripte auf die Schriftkultur des kyrillischen Kulturkreises beruht unter anderem darauf, dass Kirchenslavisch relativ konservativ ist. „Das Kirchenslavische blieb im Verhältnis zu den viel größeren Veränderungen in den gesprochenen slavischen Dialekten recht konstant. Das liegt

daran, dass alle hochsprachlichen Texte in dieser heiligen Sprache geschrieben wurden, man nah an der bestehenden Form der Sprache bleiben wollte und es ab dem 14. Jahrhundert sogar dezidierte Archaisierungsbemühungen bei der Abfassung von Handschriften gab“, führt Rabus aus.

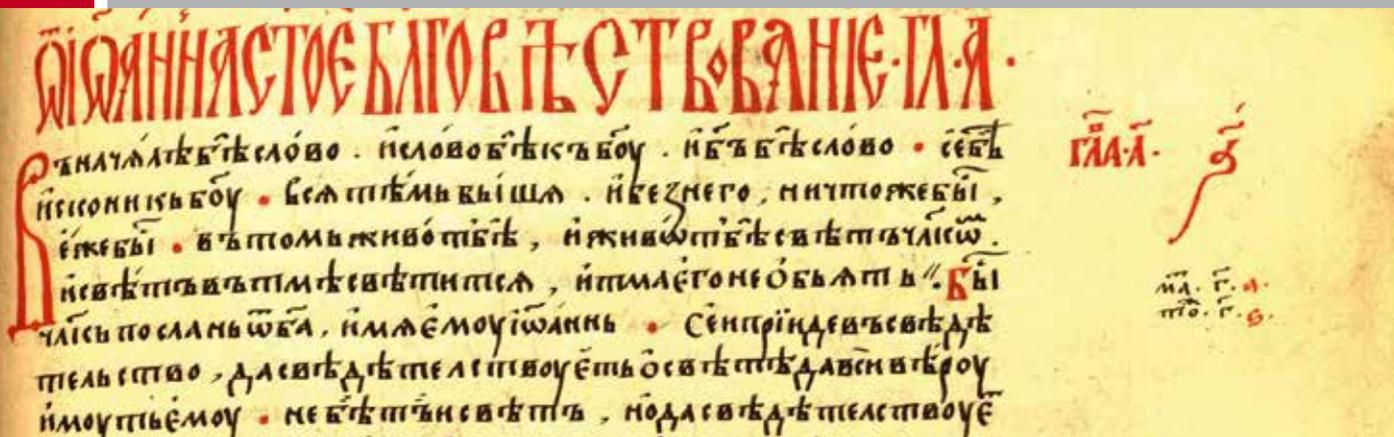
„Das ermöglicht einen ganz anderen Blick auf die Sprachentwicklung“

Die kirchenslavischen Handschriften sind ein historisches und damit ein klar umrissenes und abgeschlossenes Textkorpus. Dennoch ist dieses noch nicht zur Gänze erfasst worden. „Schätzungen zufolge gibt es etwa 800.000 kirchenslavische Handschriften. Manche davon sind natürlich schon bis ins Kleinste untersucht worden, aber ganz viele schlummern noch unbeforscht in irgendwelchen Archiven“, so Rabus. „Wir haben so viele Manuskripte als Quellen, die wir – solange wir kein digitales Korpus haben – mühsam durchgehen müssen, um einen gesuchten Beleg zu finden. Das ist ungeheuer zeitraubend, und da ist jede Beschleunigung willkommen“, ergänzt Penkova.

Zugang zu neuen Handschriften

Russische Archive digitalisieren zurzeit sehr viel aus ihren Beständen und stellen qualitativ hochwertige PDFs ins Internet. „Für unsere Handschriftenerkennung ist das ein gefundenes Fressen“, freut sich Rabus, zumal viele Handschriften für Slavisten aus dem Westen bis vor wenigen Jahrzehnten nicht zugänglich waren. Gerade für Sprachwissenschaftler ist es besonders wichtig, über große, digital abfragbare Textkorpora zu verfügen, um Hypothesen zur Sprachentwicklung anhand einer möglichst großen Datenbasis überprüfen zu können. Diese Basis zu gewinnen ist allerdings auch mittels KI nicht so einfach.

„Was Menschen mit philologischer Intuition bisher schon alles geschafft haben, beispielsweise zu wissen, dass ‚Thür‘ und ‚Tür‘ dasselbe meinen, also zu erkennen, dass trotz unterschiedlicher Schreibweisen dasselbe Konzept gemeint ist, ist für den Computer alles andere als trivial“, sagt Rabus. Frühere Texterfassungsprogramme verfolgten einen sogenannten regelbasierten Ansatz, der auf festen Wenn-dann-Beziehungen beruht:



10	10	сымери	сымерити	VERB	V-	Mood=Imp Number=Sing Person=3 Tense=Pres VerbForm=Fin Voice=Act 1	conj	--	--
11	11	са	себе	PRON	Pk	Case=Acc Number=Sing Person=3 PronType=Prs Reflex=Yes 10	mark	--	--
12	12	съ	съ	ADP	R-	13	case	--	--
13	13	братрь	братрь	NOUN	Nb	Case=Ins Gender=Masc Number=Sing 10	lobj	--	--
14	14	своимъ	свои	PRON	Pt	Case=Ins Gender=Masc,Neut Number=Sing Person=3 Poss=Yes PronType=Prs Reflex=Yes 13	nmod	--	--
15	15	и	и	CONJ	C-	1	cc	--	--
16	16	тогда	тъгда	ADV	Df	18	advmod	--	--
17	17	приведъ	прити	VERB	V-	Case=Nom Gender=Masc Number=Sing Strength=Strong Tense=Past VerbForm=Part Voice=Act 18	advcl	--	--
18	18	привеси	принести	VERB	V-	Mood=Imp Number=Sing Person=2 Tense=Pres VerbForm=Fin Voice=Act 1	conj	--	--
19	19	даръ	даръ	NOUN	Nb	Case=Acc Gender=Masc Number=Sing 18	dobj	--	--
20	20	твои	твои	PRON	Ps	Case=Acc Gender=Masc Number=Sing Person=2 Poss=Yes PronType=Prs 19	nmod	--	--
21	21								
22	1	Види	бСти	VERB	V-	Mood=Imp Number=Sing Person=2 Tense=Pres VerbForm=Fin Voice=Act 0	root	--	--
23	2	оувѣдаи	оувѣдати	VERB	V-	Case=Nom Gender=Masc Number=Sing Strength=Strong Tense=Pres VerbForm=Part Voice=Act 1	xcomp	--	--
24	3	са	себе	PRON	Pk	Case=Acc Number=Sing Person=3 PronType=Prs Reflex=Yes 2	mark	--	--
25	4	съ	съ	ADP	R-	5	case	--	--
26	5	сапърь	сапърь	NOUN	Nb	Case=Ins Gender=Masc Number=Sing 2	lobj	--	--
27	6	своимъ	свои	PRON	Pt	Case=Ins Gender=Masc,Neut Number=Sing Person=3 Poss=Yes PronType=Prs Reflex=Yes 5	nmod	--	--
28	7	скоро	скоро	ADV	Df	Degree=Pos 2	advmod	--	--
29	8	дондѣже	дондѣ	SCONJ	G-	9	mark	--	--
30	9	еси	бСти	VERB	V-	Mood=Ind Number=Sing Person=2 Tense=Pres VerbForm=Fin Voice=Act 1	advcl	--	--
31	10	на	на	ADP	R-	11	case	--	--

Ein Meilenstein in der Slavistik: Künstliche Intelligenz kann historische Texte transkribieren und grammatikalische Details sowie Informationen zu den Wortarten hinzufügen.

Foto: Staatliches Museum Moskau, Achim Rabus

wenn Großbuchstabe, dann Substantiv, wenn -en-Endung, dann Infinitiv. „Man sieht leicht, dass es da immens viele Ausnahmen gibt, die dann dazu führen, dass ein regelbasierter Ansatz irgendwann nur noch wenig hilfreich ist. Wir können nicht alle möglichen Schreibweisen, auf die Menschen im Laufe von acht Jahrhunderten verfallen sind, in Regeln fassen“, sagt Rabus. „Da hilft uns heute die Künstliche Intelligenz, weil sie das nachbilden kann, was ich philologische Intuition oder Kompetenz nenne, nämlich dass man flexibel ist im Hinblick auf sprachliche Variation.“

Geringe Fehlerquote

Damit eine KI helfen kann, muss sie jedoch erst mal trainiert werden. „Wir mussten zunächst sehr viele Handschriften mit exakter, menschlich kontrollierter Präzision als Referenz eingeben, damit die KI bei der Erfassung neuer Handschriften diese mit einem möglichst großen, korrekten Korpus abgleichen und dann in Hunderten von Durchläufen selbst Fehler erkennen und verbessern kann“, erläutert Rabus. Die Lernkurve zeigt, dass solche KI-Modelle anfangs sehr schnell dazulernen, dann aber viele Trainingsepochen benötigen, um sich weiter zu verbessern. „Wir kommen inzwischen auf eine Fehlerquote von unter vier Prozent“,

meint der Freiburger Linguist erfreut. Es sei eine enorme Arbeitserleichterung, wenn bei einer automatisierten Erfassung von 100 erkannten Buchstaben nur rund vier korrekturbedürftig seien: „Alles unter fünf Prozent ist für unsere Zwecke schon sehr gut“, bestätigt seine Kollegin aus Moskau.

Für die Effizienzsteigerung von KI-basierter Texterfassung gibt es eine einfache Regel: Viel hilft viel. „Das Spektrum der Modelle, die wir trainiert haben, ist inzwischen sehr groß“, sagt Rabus. „Wir haben bis jetzt über eine halbe Million Wörter aus unterschiedlichen Handschriften aus verschiedenen Kontexten eingespeist. Dadurch ist die Erkennung selbst bei abweichenden Manuskripten schon recht brauchbar.“ Penkova ist sehr glücklich über dieses neue Werkzeug: „Bevor uns diese neu erfassten Korpora zur Verfügung standen, war es sehr schwer, Verallgemeinerungen zu treffen. Jetzt können Hypothesen, die aus Einzelbeobachtungen gewonnen wurden, anhand der großen Datenmengen noch einmal ganz anders eingeordnet werden. Das bringt die Forschung voran, rückt andere und neue Themen in den Fokus, die früher gar nicht erreichbar waren.“ Rabus spricht sogar jetzt quantitativ, probabilistisch auf die Zahlen. Früher hat man gesagt: Es gibt aber auch das,

und womöglich war das eine häufiger, das andere selten. Jetzt kann ich dafür harte Zahlen angeben. Das ermöglicht einen ganz anderen Blick auf die Sprachentwicklung. Wir befinden uns im Wandel von einer Philologie, die eher intuitiv war, hin zu einer, die analog zu den Sozialwissenschaften mit Statistiken und Zahlen arbeiten und Hypothesen auf dieser Grundlage belegen kann.“

Sprachwandel nachvollziehen

Wie das praktisch aussehen kann, haben Penkova und Rabus gerade in einem gemeinsamen Aufsatz über den Gebrauch von Indefinitpronomen ausgeführt und sind dabei aufgrund der neuen Textbasis zu der für die Linguistik überraschenden Erkenntnis gekommen, dass der wechselnde Gebrauch dieser Pronomen nicht primär durch zeitlichen Wandel, sondern durch den Kontext bedingt ist. So lassen sich zeitabhängige Entwicklungen von Phänomenen, wie etwa dem Sprachwandel, viel besser nachzeichnen. Und hinsichtlich der unterschiedlichen Faktoren, die für einen Wandel verantwortlich sein können, lassen sich jetzt zahlenbasierte Entscheidungen treffen. Ein großer Schritt für die Paläoslavistik, denn, wie Rabus sagt: „Linguisten glauben nicht, dass Sprachwandel zufällig ist, sie suchen nach Gesetzmäßigkeiten.“ Und im besten Fall lässt sich in Zukunft jeder vermeintliche Zufall durch Abgleich mit der Textdatenbank widerlegen.

www.multihtr.uni-freiburg.de

www.pr.uni-freiburg.de/go/ki-und-kuechenrezepte



Prof. Dr. Achim Rabus studierte Slavistik, Musikwissenschaft und Betriebswirtschaft an den Universitäten Freiburg und Kasan/ Russland. Anschließend lehrte und forschte er am Slavischen Seminar der Universität Freiburg. 2008 wurde er in Slavistik mit der Dissertation „Die Sprache ostslavischer geistlicher Gesänge im kulturellen Kontext“ promoviert, 2014 habilitierte er sich mit der Arbeit „Die Rolle des Sprachkontakts für die slavischen (Standard-)Sprachen“. Von 2013 bis 2016 war er Professor für Slawistische Sprachwissenschaft an der Universität Jena, seit 2016 ist er Professor für Slavische Philologie (Sprachwissenschaft) an der Universität Freiburg.

Foto: Thomas Kunz



Dr. Yana Penkova studierte von 2002 bis 2007 russische Literatur und Sprache an der Staatlichen Universität Moskau/ Russland und wurde dort 2012 an der Fakultät für Philologie promoviert. Seit 2012 arbeitet sie am Vinogradov-Institut für russische Sprache der Russischen Akademie der Wissenschaften, seit 2019 als Leiterin der Arbeitsgruppe zum Wörterbuch der russischen Sprache (11.–17. Jh.). Zudem ist sie seit 2017 Dozentin in der School of Linguistics der Nationalen Forschungsuniversität Higher School of Economics in Moskau/ Russland.

Foto: privat

Zum Weiterlesen

Rabus, A. (im Druck): Training generic models for handwritten text recognition using Transkribus: opportunities and pitfalls. In: Proceedings of the Dark Archives Conference. Oxford.

Rabus, A. (2019): Recognizing handwritten text in Slavic manuscripts: a neural-network approach using Transkribus. In: Scripta & e-Scripta 19, S. 9–32.

Scherrer, Y., Mocken, S., Rabus, A. (2018): New developments in tagging pre-modern Orthodox Slavic texts. In: Scripta & e-Scripta 18, S. 9–33.

Was vom Regenwasser übrig bleibt

Voraussagen über verfügbare
Grundwasserreserven und deren
Erneuerungsrate in Karstgebieten

von Jürgen Reuß

*Wichtig für die Trinkwasserversorgung: Fast auf jedem Breiten- und Längengrad der Erde
und damit in jeder Klimazone gibt es Karstgebiete. Foto: Andreas Hartmann*



Der Globus erwärmt sich, Extremwetterlagen nehmen zu. Umso wichtiger ist es, möglichst präzise zu wissen, welcher Anteil von dem, was als Niederschlag herunterkommt, als Trinkwasser nutzbar sein wird. Dank der Forschung des Freiburger Hydrologen Andreas Hartmann sind nun zuverlässigere Vorhersagen über verfügbare Grundwasserreserven und deren Erneuerungsrate in Karstgebieten möglich. Hydrologinnen und Hydrologen behalten gern die grundsätzliche, globale Dynamik des irdischen Wasserkreislaufs im Blick. „Insgesamt gibt es immer gleich viel Wasser auf der Erde“, sagt Hartmann mit Blick auf die globale Erwärmung. „Durch die höheren Temperaturen wird alles nur ein bisschen dynamischer, es verdunstet mehr, es regnet mehr, und eine wärmere Atmosphäre kann mehr Wasser speichern.“

Wichtig für die Trinkwasserversorgung

Doch diese neue Dynamik bedeutet für viele Regionen eine sehr reale Bedrohung durch die Zunahme von Extremwetterlagen wie Starkregen oder Trockenzeiten. An einem Ort treten verstärkt Überschwemmungen auf, während andernorts alles verdorrt. Mancherorts passiert abwechselnd sogar beides. Dass global kein Wasser verloren geht, ist für ein Verständnis der Vorgänge zwar wichtig, aber für uns Menschen weniger relevant, als zu wissen, wo und wann genau mit Wassermangel zu rechnen ist. Das weiß natürlich auch Hartmann und hat seine Forschung darauf ausgerichtet, dies möglichst genau zu bestimmen. Die Freiburger Forscherinnen und Forscher wollen dazu die Modelle optimieren, nach denen bisher berechnet wird, wie viel Trinkwasser in welcher Region zur Verfügung steht und wie sich die Wasserverfügbarkeit in Zukunft entwickeln wird. Hartmann hat sich auf Karstgebiete spezialisiert.

Karstgebiete spielen eine große Rolle für die Trinkwasserversorgung. Rund ein Viertel der Weltbevölkerung bezieht das Trinkwasser aus dem Karst. Regional, wie in Österreich oder Slowenien, können es auch fünfzig Prozent der Bevölkerung

sein. Auch Flüsse wie Themse, Seine und Donau werden zum Teil aus Karstgebieten gespeist. Besonders interessant dabei ist, dass es fast auf jedem Breiten- und Längengrad der Erde und damit auch in jeder Klimazone Karstgebiete gibt. Die verschiedenen Regionen, in denen Hartmann forscht, unterscheiden sich stark hinsichtlich der Boden- und Klimabedingungen. Hartmanns These ist, dass diese Unterschiede relevant für die Modellierung der Karstgebiete sind. Dieser Gedanke scheint naheliegend, wurde bisher aber bei der globalen Abschätzung von Wasserressourcen nicht berücksichtigt. Die herkömmlichen Modelle zur Berechnung des Verhältnisses von Niederschlägen zu der Wassermenge, die in Bächen und Flüssen landet, lassen die Karstgebieten im Prinzip außer Acht.

Um zu überprüfen, inwieweit Karstgebiete als Wasserreservoirs dienen können, hat das Freiburger Team fünf Standorte für sein globales Karst-Monitoring-Programm ausgewiesen, und zwar so, dass Tropen und Wüstengebiete, alpine, gemäßigt-humide und trocken-mediterrane Regionen abgedeckt sind. Die erste Messfläche befindet sich in einer trockenen Zone in Australien, die zweite im mediterranen Andalusien/Spanien, die dritte in einer humiden, also feuchten Klimazone in England, die vierte auf 1450 Meter Höhe im alpinen Nationalpark Berchtesgaden und die fünfte im tropischen Norden Puerto Ricos.

Erfolgreiches Zufallsprinzip

Dort wurden an jeweils 30 Messpunkten drei Bodenfeuchtesonden in fünf und in zwanzig Zentimeter Tiefe sowie direkt am Gestein in 40 bis 80 Zentimeter Tiefe installiert, um zu erfassen, wie sich unterschiedliche Bodenverhältnisse auf die Verdunstungs- und Grundwasserneubildungsprozesse im Karst auswirken. Um möglichst objektive Messwerte zu erhalten, wurden die Koordinaten für die Messpunkte per Zufallsgenerator bestimmt. „Feldforscher arbeiten gern nach Gefühl, stecken dort was rein, wo sie meinen, dass sie am meisten sehen, aber dadurch



Feldforschung: Um Oberflächendaten zu sammeln, installiert das Team um Andreas Hartmann weltweit in unterschiedlichen Regionen Bodensonden. Foto: Andreas Hartmann

hat man zwangsläufig immer eine Verfälschung drin“, erläutert Hartmann.

Sein Zufallsprinzip hat allen Kritikpunkten standgehalten. Als Schwachstelle haben sich ganz andere Faktoren herausgestellt: „In Australien war der Boden von der Hitze so hart gebacken, dass wir die Kabel an der Oberfläche verlegen mussten. Wir haben die zwar schön festgemacht, aber die Kängurus sind dort zu Hunderten, schauen uns zu, und dann kommen wir am nächsten Tag zurück, und sie haben alle Kabel rausgerissen“, erzählt Hartmann. In der mediterranen Zone machten Wildschweine, die nach Käfern und Insekten wühlen, die sich unter den Kabelboxen sammeln, ähnliche Probleme. In den Berchtesgadener Alpen waren die Sonden unter zweieinhalb Meter Schnee begraben, während in Puerto Rico der Dschungel so rasend schnell wächst, dass das Freiburger Team Mühe hatte, seine Datenspeichergeräte unter frischem Wurzelwerk überhaupt wiederzufinden.

„Wir leisten da Pionierarbeit“

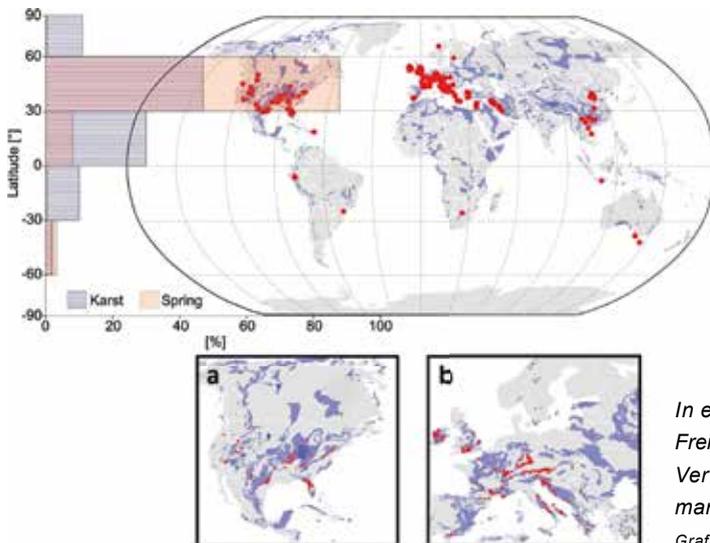
Die jeweiligen Widrigkeiten spiegeln sich auch in den Forschungsergebnissen: Die Kängurus konnten nur zu Störfaktoren werden, weil aufgrund der starken Trockenheit des Bodens die Kabel an der Oberfläche verlegt werden mussten. „In Australien sind noch heute die Erdhäufchen vom Einbuddeln der Sonden zu sehen. In den vergangenen zwei Jahren hat sich da quasi nichts getan, wegen der fehlenden Bioaktivität regeneriert sich der Boden kaum. Der Region geht das Wasser aus“, sagt Hartmann. „Unser Messgebiet ist ganz in der Nähe der Waldbrände, aber bei uns hat das Feuer nicht genügend brennbare Biomasse gefunden. Für die Ausbreitung großer Feuer ist es dort zu trocken.“ Keine Niederschläge bedeutet für die Wüstenregion folglich keinerlei Grundwassererneuerung. Im

mediterranen Gebiet erlauben die Messdaten der Bodensonden dagegen recht genaue Aussagen über die Grundwassererneuerungsrate. So ist dort deutlich mehr Trinkwasser vorhanden, als bisherige Rechenmodelle vermuten ließen.

Globaler Datensatz zu Karstquellen

Das Sammeln von Oberflächendaten ist aber nur der erste Teil von Hartmanns Karstprojekt. In einem zweiten Schritt hat sein Team weitere Forschungsergebnisse von Kolleginnen und Kollegen möglichst vollständig in einer Datenbank zusammengeführt. Diese Daten wurden von Forschern auf der ganzen Welt vor allem an Karstquellen erhoben. Dort finden die meisten hydrologischen Untersuchungen statt, weshalb oft Informationen zu Abflussraten sowie elektrischer Leitfähigkeit, Wassertemperatur, Wasserqualität, Chlorid- oder Nitratwerten zur Verfügung stehen. „Wir haben Hunderte dieser Ergebnisse gesammelt, digitalisiert und zum weltweit größten Datensatz zu Karstquellen zusammengestellt, der frei verfügbar ist“, sagt Hartmann.

Schon in seiner Doktorarbeit hatte Hartmann diese Karstquellendaten zur Verbesserung der Abschätzung von Wassererneuerungsraten hinzugezogen. Über die Bodensensoren in den fünf typischen Karstregionen sind nun zusätzlich präzisere Aussagen darüber möglich, welcher Anteil des Niederschlags über Vegetation oder unbewachsenen Boden verdunstet und welcher ins Grundwasser eingeht. „Diese Erneuerungsrate möglichst genau zu kennen ist wichtig“, erläutert Hartmann. „Sie hilft abzuschätzen, wie viel Grundwasser nachhaltig entnommen werden kann. Wir leisten da Pionierarbeit, um die Prozesse in den Karstsystemen der verschiedenen Klimaregionen der Welt besser zu verstehen.“



In einer Datenbank sammeln die Freiburger Forschenden die räumliche Verteilung der Karstgebiete, blau markiert, und Quellen, rot markiert.

Grafik: Tunde Olarinoje



Juniorprofessor

Dr. Andreas Hartmann

studierte von 2003 bis 2008 Hydrologie, Geologie, Meteorologie und Mathematik an der Universität Freiburg. Dort wurde er 2013 mit seiner Arbeit über Karstmodelle promoviert. Nach Forschungs- und Lehrtätigkeiten an der Universität Bristol/England und der McGill-Universität in Montreal/Kanada arbeitete er ab 2014 parallel an den Universitäten Bristol/England und Freiburg. Seit 2017 ist er Juniorprofessor und Gruppenleiter für Hydrologische Modellierung und Wasserressourcen am Institut für Geo- und Umweltwissenschaften der Albert-Ludwigs-Universität. Seine Forschungsgruppe wird durch das Emmy Noether-Programm der Deutschen Forschungsgemeinschaft gefördert.

Foto: Patrick Seeger

In einem dritten Schritt führten die Freiburger Hydrologen die Daten aus den Testgebieten und den Karstquellen in einem Modell für die Berechnung der Grundwassererneuerungsrate zusammen. Dieses Modell wird ab Frühjahr 2021 verfügbar sein und zukünftig genauere Aussagen darüber erlauben, wie stark welche Karstregionen von Wassermangel betroffen sein werden. Aber Hartmann denkt schon weiter: Um auch den Wasserverbrauch besser abschätzen zu können, möchte er über Oberfläche und Quelle hinaus auch die Flüsse, die hauptsächlich vom Karst gespeist werden, in seine Berechnungen einbeziehen.

Hydrologische Klimaforschung

Auch im Hinblick auf den noch ausgesparten Bereich zwischen Oberfläche und Quelle, also das Innere des Karstgesteins, eröffnet Hartmans Karstmodell, das eigentlich als Modell zur nachhaltigen Trinkwassernutzung gedacht war, interessante Perspektiven: Ein australischer Kollege, der anhand der Zusammensetzung von Stalagmiten das Klima der letzten Jahrzehnttausende rekonstruiert,

hat es für seine Forschungen hinzugezogen. Da sich damit deren Neubildungsrate besser abschätzen lässt, lassen sich mit seiner Hilfe Interpretationen zu früheren klimatischen Bedingungen korrigieren. Hartmanns Modell zeigt beispielsweise, dass in Regionen mit saisonalem Niederschlag nur im Winter genügend Wasser tropft, um Stalagmiten wachsen zu lassen. Die bisherigen Temperaturberechnungen sind also in Richtung der Jahreszeiten verzerrt, in denen es mehr regnet. „Wenn man das weiß, kann man die Berechnung auch wieder entzerren“, erklärt Hartmann. Vielleicht wird er auf der Grundlage seiner bisherigen Arbeit bald Klimaforschung anhand hydrologischer Modelle betreiben — die Forschungsanträge dazu sind gestellt.

www.subsurface-heterogeneity.com

www.hydmmod.uni-freiburg.de/research/research#karst-research

www.twitter.com/sub_heterogenty

Zum Weiterlesen

Olarinoje, T., Gleeson, T., Marx, V., Hartmann, A. et al. (2020): Global karst springs hydrograph dataset for research and management of the world's fastest-flowing groundwater. In: Scientific Data 7, 59. DOI: 10.1038/s41597-019-0346-5

Berthelin, R., Rinderer, M., Hartmann, A. et al. (2020): A soil moisture monitoring network to characterize karstic recharge and evapotranspiration at five representative sites across the globe. In: Geoscientific instrumentation, methods and data systems, 9, S. 11–23. DOI: 10.5194/gi-9-11-2020

Hartmann, A., Liu, Y., Olarinoje, T., Berthelin, R., Marx, V. (2020): Integrating field work and large-scale modeling to improve assessment of karst water resources. In: Hydrogeology Journal. DOI: 10.1007/s10040-020-02258-z

Baker, A., Hartmann, A., Werner, M. et al. (2019): Global analysis reveals climatic controls on the oxygen isotope composition of cave drip water. In: Nature Communications, 10, S. 1–7. DOI: 10.1038/s41467-019-11027-w



Gesetzhüter einer offenen Gesellschaft

Forschende untersuchen den Umgang mit Differenz
in den deutschen Polizeien

von Annette Kollfrath-Persch

Wird Polizeiarbeit besser, wenn Personen verschiedener Herkunft oder unterschiedlichen Alters zusammenarbeiten? Diese Frage interessiert Forscherinnen im Projekt „ZuRecht“.

Foto: markus spiske/Unsplash

Durch die zunehmende Vielfalt an Kulturen, Religionen, Wertvorstellungen und Verhaltenskodizes stehen die Polizeien des Bundes und der Länder vor der Herausforderung, sich entsprechend flexibel zu diesem gesellschaftlichen Wandel zu verhalten und gleichzeitig ihren wichtigen Aufgaben weiter nachzukommen. Im Forschungsprojekt „ZuRecht – Die Polizei in der offenen Gesellschaft“ untersuchen deshalb Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler vom Centre for Security and Society (CSS) der Universität Freiburg, wie die Polizei in ganz unterschiedlichen Arbeitsbereichen – von der Nachwuchssicherung über Ausbildung und Training bis zum Streifen dienst und zur Öffentlichkeitsarbeit – mit Vielfalt und Differenz umgeht. Dabei geht es etwa um Diversität in den eigenen Reihen, um die Nennung von Herkunftskategorien in der polizeilichen Öffentlichkeitsarbeit sowie um die Frage, wie die Polizei in einer pluralisierten Gesellschaft gewährleisten kann, dass sie allen gleichermaßen gerecht wird, auch beispielsweise jenen, die der deutschen Sprache nicht mächtig sind.

Das Team um Dr. Sabrina Ellebrecht arbeitet dafür mit der Deutschen Hochschule der Polizei in Münster und dem Freiburger Max-Planck-Institut zur Erforschung von Kriminalität, Sicherheit und Recht zusammen. Die Forscherinnen und Forscher tauschen sich zudem standortübergreifend mit den Polizeien des Bundes und der Länder aus. „Leitend für unsere Forschungsarbeiten“, so Projektleiterin Ellebrecht, „ist die Frage, wie die Polizei in einer pluralisierten Gesellschaft aufgestellt und ausgebildet sein sollte, an welchen Punkten sie sich interkulturell öffnen muss und wo Hürden für eine moderne, zur Gesellschaft passende Polizei liegen könnten.“ Das Projekt, das von der Stiftung Mercator mit 1,74 Millionen Euro gefördert wird, ist auf insgesamt vier Jahre angelegt, anderthalb davon sind bereits vergangen – und das Thema ist derzeit in der Öffentlichkeit präsent wie nie zuvor.

Die Deutsche Hochschule der Polizei (DHPol) ist ein wichtiger Partner, sagt Ellebrecht, die

sich in dem Projekt zum Thema „Repräsentation in der pluralen Demokratie“ habilitiert. Die DHPol ist sowohl die zentrale polizeiliche Bildungseinrichtung für polizeiliche Führungskräfte als auch eine Spezialhochschule mit universitärem Status für den Themenbereich „Innere Sicherheit“. Die Wissenschaftler vom CSS hätten bei ihrem Projektpartner keine Überzeugungsarbeit leisten müssen, erklärt die Freiburger Soziologin, das Thema sei dort bereits länger aktuell und Teil von Analysen und Debatten. „In unseren Untersuchungen werden wir zunächst den Ist-Stand beschreiben und dann schauen, welche Hürden durch die Logik der Organisation, der Gesellschaft, des Beamtenrechts oder individueller Polizistinnen und Polizisten bestehen. Dabei nehmen wir von der Selektion in den Polizeiberuf über die polizeiliche Sozialisation in der Ausbildung und der weiteren Laufbahn auch die Interaktion mit dem so genannten ‚polizeilichen Gegenüber‘, also mit der Bevölkerung, in den Blick.“ Im letzten Projektjahr werden die Forschenden dann bei den Polizeien des Bundes und der Länder ihre Ergebnisse vorstellen und mit deren Vertreterinnen und Vertretern diskutieren.

Hürden in vielen Bereichen

„Beim Thema Interkulturalität stößt man immer wieder auf die Frage, ob Polizeiarbeit besser wird, wenn Personen verschiedener Herkunft zusammenarbeiten“, erläutert Ellebrecht. „Herauszufinden, ob da tatsächlich ein Zusammenhang besteht, ist für mich der vermutlich spannendste Punkt.“ Oftmals seien es auch kulturelle Wissensbestände, so die Soziologin, die einen großen Unterschied machten: „In Halle wäre es zum Beispiel wichtig gewesen, dass die Polizei frühzeitig die kulturelle Relevanz des Feiertages und das Schutzbedürfnis der dortigen jüdischen Gemeinde erkannt hätte, um den Anschlag auf die Synagoge verhindern zu können.“ In der derzeitigen politischen und öffentlichen Debatte um Polizeiarbeit in einer pluralistischen Gesellschaft werde deutlich, dass oft die Kommunikation der Institution nach außen fehle.



Kulturelle Wissensbestände machen den Unterschied: Hätte die Polizei in Halle frühzeitig den Schutz der jüdischen Gemeinde erkannt, erklärt eine Freiburger Soziologin, „wäre der Anschlag auf die Synagoge zu verhindern gewesen.“

Foto: ArTo/stock.adobe.com

Außer um die Frage, wie sich die Polizei zusammensetzt, geht es auch um das Außenverhältnis zu den Bürgerinnen und Bürgern. Die Juristin Sarah Praunsmändel, die innerhalb des Projekts promoviert, beschäftigt sich mit dem Amtssprachengrundsatz in der Gefahrenabwehr und will herausfinden, wie die Polizei am besten mit Personen kommuniziert, die keine oder nur geringe Deutschkenntnisse besitzen. Während das Beamtenrecht das Arbeitsverhältnis der Polizisten regelt, legt das Polizeirecht die Aufgaben und Befugnisse der Polizei fest, erklärt Praunsmändel. „Kommunikation ist das Einsatzmittel der Polizei, und das schlägt sich auch in den Polizeigesetzen nieder, die verschiedenste Kommunikations- und Informationspflichten festlegen.“ Problematisch findet Praunsmändel, dass in den beiden polizeilichen Aufgabenfeldern, der Strafverfolgung und der Gefahrenabwehr, grundlegend unterschiedliche Regeln gelten. Geht es um Strafverfolgung, wird für deutschunkundige Personen übersetzt, bei der Gefahrenabwehr hingegen kann jede Kommunikation auf Deutsch erfolgen.

Auch die Entstehungsgeschichte von § 23 des Verwaltungsverfahrensgesetzes untersucht Praunsmändel. Das Gesetz trat 1977 in Kraft und sollte damals die durch die große Zahl der so genannten Gastarbeiter entstandenen Sprachprobleme lösen. „Damals stand die Verwaltungseffizienz im Vordergrund“, analysiert die Juristin, „problematisch ist aber ganz sicher, dass die Gesetzesbegründung explizit auf die Gruppe der ausländischen Arbeitnehmer verweist.“ Praunsmändel plädiert für ein neues Verständnis des Amtssprachengrundsatzes: „In bestimmten Fällen ist es notwendig, von Deutsch als Amtssprache abzuweichen.“ Einzelne Polizeien wie die Polizei Hamburg sähen das auch so und stellten inzwischen ihre Beamtinnen und Beamten mit Übersetzungssapps aus, erklärt Praunsmändel. Aber es gebe an diesem Punkt noch viel zu überarbeiten: „Im Hinblick auf eine pluralisierte Gesellschaft muss sich unsere monolingualistische ausgerichtete Exekutive verändern, um ausreichend zukunftsfähig zu sein.“

Kriterien für den Polizeidienst

„Wie soll die Polizei in einer demokratischen, pluralen Gesellschaft aussehen, und was sind die rechtlichen Vorgaben?“, fragt sich auch Laura Wisser und nimmt dafür den Zugang zum Polizeidienst in den Blick. „Die obersten verfassungsrechtlichen Vorgaben, die die Auswahl von Beamtinnen und Beamten und damit auch Polizisten betreffen sind zum einen das Gebot der Gleichbehandlung, das besagt, dass niemand ungerechtfertigt diskriminiert werden darf, und zum anderen das damit zusammenhängende Gebot der Bestenauslese, das die Funktionsfähigkeit der öffentlichen Verwaltung sicherstellen soll“, sagt die Doktorandin. „Es fordert, kurz gesagt, dass Beamte anhand von leistungsorientierten, legalen Kriterien ausgewählt werden müssen und nicht etwa aufgrund von Nepotismus oder

„Kommunikation ist das Einsatzmittel der Polizei“

„Der Grund ist, dass § 23 des Verwaltungsverfahrensgesetzes Deutsch als Amtssprache festlegt“, sagt die Wissenschaftlerin. „Nur auf Deutsch kommt die Polizei aber oftmals nicht weit, Sprachbarrieren sind alltägliche Erfahrungen und können sogar die Aufgabenerfüllung behindern.“ Auf der anderen Seite stehen die Rechte des deutschunkundigen polizeilichen Gegenübers: „Die Sprachbarrieren wirken sich stärker auf der Seite der deutschunkundigen Person aus.“ Hier müsse mit dem Fokus auf das Handeln der Polizei überlegt werden, ob nicht vom Amtssprachengrundsatz abgewichen werden muss, um zum Beispiel rechtsstaatliche Grundsätze, wie das Recht auf ein faires Verfahren, nicht zu verletzen.

Ähnlichem.“ Aber wie wird insbesondere das Gebot der Bestenauslese derzeit ausgefüllt? Nach welchen Kriterien wird entschieden, ob jemand Polizist werden darf oder nicht? Und werden diese Kriterien den Ansprüchen einer pluralisierten Gesellschaft und den verfassungsrechtlichen Grundsätzen gerecht?

In ihrer Arbeit über Repräsentation und Eignung aus verfassungsrechtlicher Sicht geht Wisser diesen Fragen nach. Dafür untersucht sie zunächst die verschiedenen Landes- und Bundesgesetze und die bisherige Rechtsprechung. Daran angelehnt will die Freiburger Forscherin mit verfassungs- und demokratietheoretischen Analysen eine Interpretation des Eignungsbegriffs entwickeln, die den gleichheitsrechtlichen und demokratischen Idealen gerecht wird, die in der Verfassung angelegt sind. Denn: „Eine personell homogene Polizei kann denkbare Weise nicht geeignet sein, in einer pluralisierten, heterogenen Gesellschaft die Sicherheit aller Bürgerinnen und Bürger gleichermaßen zu garantieren.“ In ihrer Arbeit untersucht Wisser auch Disziplinarverfahren gegen Polizisten, die durch Rechtsextremismus aufgefallen sind.

Diskussion um Polizeistudie

In der aktuellen Debatte wird aber nicht nur über die Polizei und die Qualität ihrer Arbeit diskutiert. „Auch steht zur Diskussion, wer überhaupt über die Polizei reden darf“, sagt Ellebrecht. An der Diskussion rund um die Möglichkeit und Genehmigung einer „Polizeistudie“ werde das sehr deutlich: „Da ist nun die Wissenschaft gefragt.“

www.projekt-zurecht.de



Dr. Sabrina Ellebrecht ist Soziologin und wissenschaftliche Mitarbeiterin am Centre for Security and Society der Albert-Ludwigs-Universität Freiburg. 2018 wurde sie mit einer Arbeit zur Entstehung der europäischen Außengrenze promoviert. Seit 2019 leitet sie das von der Stiftung Mercator geförderte Forschungsprojekt „ZuRecht – Die Polizei in der offenen Gesellschaft“ und arbeitet an ihrer Habilitation. Ihre Arbeitsschwerpunkte liegen in der politischen Soziologie, der Sicherheits- und Polizeiforschung sowie der Grenz-, Migrations- und Techniksoziologie.

Foto: Conny Ehm



Laura Wisser hat Jura an den Universitäten in Freiburg und Coimbra/Portugal studiert. Ihr Staatsexamen legte sie 2018 ab, anschließend begann sie ein Masterstudium in Soziologie an der Albert-Ludwigs-Universität. Seit 2019 arbeitet sie am Centre for Security and Society an ihrer Dissertation, die sich mit rechtlichen Fragen des Zugangs zum Polizeiberuf beschäftigt, insbesondere mit den Aspekten „Eignung“ und „Repräsentation“.

Foto: Klaus Polkowski



Sarah Praunsmändel hat an den Universitäten in Mainz und Frankfurt a.M. Jura studiert. Seit ihrem Staatsexamen im Jahr 2018 ist sie Lehrbeauftragte für Öffentliches Recht an der Hochschule Fulda. Am Centre for Security and Society promoviert sie seit 2019 bei Prof. Dr. Ralf Poscher und forscht zum Amtssprachengrundsatz in der Gefahrenabwehr.

Fotos: Studio PicturePeople

Zum Weiterlesen

Foroutan, N. (2019): Die postmigrantische Gesellschaft. Ein Versprechen der pluralen Demokratie. Bielefeld.

Asmus, H.-J., Enke, T. (2016): Der Umgang der Polizei mit migrantischen Opfern. Eine qualitative Untersuchung. Wiesbaden.

Chahed, H., Susen, A.-S. (2017): Ansichten, Einsichten, Aussichten des Projekts „Polizei und Vielfalt“ der Stiftung SPI 2016–2017. Berlin.

Pavlenko, A. (2011): „I'm Very Not About the Law Part“: Nonnative Speakers of English and the Miranda Warnings. In: *Tesol Quarterly*, Vol. 42 (1). S. 1-30. DOI: 10.1002/j.1545-7249.2008.tb00205.x



Das Design der Elementarzelle

Metamaterialien sollen sich anpassen,
dazulernen oder sich selbst heilen

von Jürgen Schickinger

Metamaterialien mit speziellen programmierten Fähigkeiten sind vergleichbar mit einer Schaumstoffmatratze: Jede Schaumblase entspricht einer Elementarzelle, die Matratze dem ganzen System.

Foto: limco72/stock.adobe.com

Auf der ersten bemannten Marsmission wird es im Raumschiff eng werden. „Wäre es da nicht toll, aus den Wänden der Kabinen Möbel formen zu können?“, fragt Prof. Dr. Chris Eberl. „Einen Tisch oder an derselben Stelle je nach Wunsch auch ein Sofa?“ Der Professor für Mikro- und Werkstoffmechanik vom Institut für Mikrosystemtechnik der Universität Freiburg (IMTEK) forscht im Exzellenzcluster *livMatS* an intelligenten Materialien. Das so genannte Shape Morphing, also die Veränderung von Formen, ist ein wichtiges Thema seiner Arbeit. Dabei entstehen Materialien, die sich äußeren Gegebenheiten anpassen, dazulernen oder sich selbst heilen. „Sie sollen sich verhalten, als ob sie leben würden – und das wollen wir in ihre Struktur einprogrammieren“, erklärt Eberl, der stellvertretender Institutsleiter am Fraunhofer-Institut für Werkstoffmechanik (IWM) ist. Das Beispiel Marsmission, räumt er ein, greife der Zukunft etwas voraus: „Aber mit den formbaren Kabinenwänden würden wir programmierbare Materialien wirklich beherrschen.“

Programmierbare Verformung

So weit sind der Wissenschaftler und sein Team noch nicht: „Wir können einzelne Elementarzellen erzeugen und lernen gerade, wie wir sie in ein System integrieren.“ Das Ziel, so Eberl, seien Metamaterialien mit speziellen programmierten Fähigkeiten. Vergleichbar sei das zum Beispiel mit einer Schaumstoffmatratze, bei der jede Schaumblase einer Elementarzelle entspreche, die Matratze dem ganzen System. „Es ist ein Metamaterial, weil es gefühlt wie ein einheitliches, kontinuierliches Material erscheint“, erklärt Eberl. Das hänge auch mit der Auflösung zusammen: „Würden wir die Schaumblasen größer machen, so dass man einzelne beim Liegen spürt, wären Schaumstoffmatratzen kein Metamaterial, sondern eine Struktur.“

Am Beispiel der Schaumstoffmatratze lässt sich auch veranschaulichen, wie Elementarzellen interagieren. „Wenn Druck auf die Matratze kommt, ‚reden‘ die Blasen miteinander“, erklärt Eberl, das heißt, sie geben einen Teil des Drucks an die Nachbarblasen weiter. Jede Blase verforme sich ein bisschen anders, sagt der Forscher: „So erfüllt in intelligenten Materialien jede Elementarzelle verschiedene Bedürfnisse, die wir jeweils mit hohem Aufwand einstellen müssen.“ Eberl entwirft und er-

zeugt solche Elementarzellen, etwa für Shape-Morphing-Systeme. Damit könnten sich beispielsweise Flugzeugflügel durch den Luftwiderstand verformen, sobald eine bestimmte Reisegeschwindigkeit erreicht sei. Auf diese Weise könne die Aerodynamik optimiert und Sprit gespart werden. Und Kabinenwände könnten zu Sofas oder Tischen werden, wenn jemand an den richtigen Stellen ziehe.

„Sie sollen sich verhalten, als ob sie leben würden“

Eberl spricht von Wenn-dann-Beziehungen. Die programmiert er in die Geometrie von Elementarzellen ein. Zur Verdeutlichung zeichnet er unterschiedliche Kästchen mit elastischen, gefalteten Wänden auf, die unterschiedliche Verstärkungen haben. Anderer Aufbau, andere Fähigkeiten: „Die Designs beruhen auf Erfahrung, Kreativität, Intuition und viel Optimierung.“ Die Geometrie kann etwa bewirken, dass sich Materialien bei Druck lokal versteifen, weil sich ihre Elementarzellen nur begrenzt verformen – bis zu der Stelle, an der die Verstärkungen ihrer Wände aneinanderstoßen.

Zellen in Feinstaubgröße

„Grundsätzlich könnten wir die Energie des Drucks nutzen“, sagt der Mikromechaniker. Statt aneinanderzustoßen, könnten Wandverstärkungen auch einrasten wie Druckknöpfe an Sprungfedern. Solche Schaumstoffmatratzen würden eingedellt bleiben, nachdem jemand sie eingedrückt hat. Die Energie wäre gespeichert. „Sie wird dann wieder frei, wenn die Matratze unter definierten Bedingungen aufploppt“, erläutert Eberl. Herkömmlichen Schaumstoff findet er, was dessen Fähigkeiten angeht, eher simpel, denn „der wird unter Druck nur härter“. Clevere Schaumstoffmatratzen müssten den Auflagedruck herabsetzen, indem sie ihn streuen und die Auflagefläche kontinuierlich vergrößern: „Dann könnten sich bettlägerige Personen nie mehr wundliegen.“ Neben der Geometrie müssen die Wandmaterialien der Elementarzellen passen. Diese entwickelt Prof. Dr. Jürgen Rühle am IMTEK. „Das Material bestimmt, wie fein die Blasen sein können und wie dick und steif oder flexibel ihre Wände sein müssen“, zieht Eberl erneut den Schaumstoffvergleich.

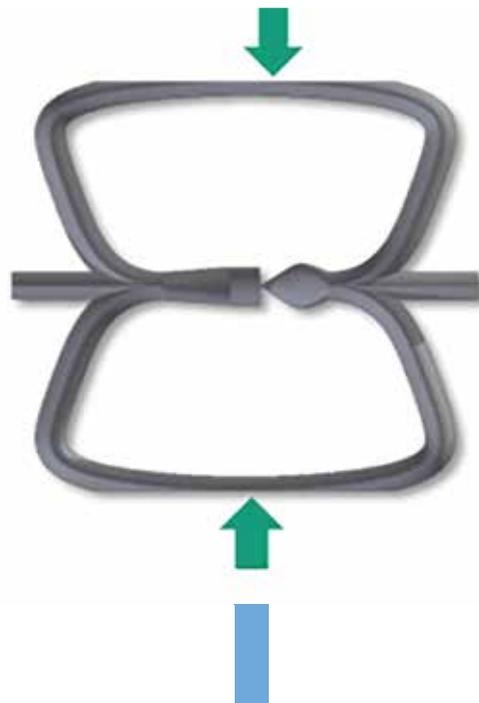
Mit großen Zellen wäre seine Forschung wohl leichter. Doch Elementarzellen haben Feinstaubdimension. „Sie sind ungefähr zehn Mikrometer groß – einen Hunderstelmmillimeter“, sagt der Mikromechaniker. Derart winzige Strukturen erzeugt sein Team mit Zwei-Photonen-Lithografie, einem extrem präzisen 3-D-Druckverfahren. Das ist teuer. Größere Bauteile entstehen deshalb im üblichen 3-D-Druck und noch größere, mechanische mittels Spritzguss oder Folienprozessen. Zusätzlich simulieren Computermodelle von Prof. Dr. Lars Pastewka, der ebenfalls am IMTEK forscht, wichtige Details über alle Skalen hinweg. „Damit können wir die Systeme vom Molekül bis zum Bauteil verstehen“, sagt Eberl.

„Das Prinzip wäre überall dort nützlich, wo der Platz stark begrenzt ist“

Um zu demonstrieren, wie smarte Metamaterialien lernen, eignet sich erneut der Vergleich mit Schaumstoff, diesmal in Form einer steifen Schwimmmudel. „Sie könnte lernen, sich an nur einer Stelle zu biegen“, sagt Eberl. Durch mehrfaches Biegen an besagter Stelle würden sich die Moleküle in den dortigen Elementarzellen umlagern, und die Struktur würde lokal erweichen. Die Schwimmmudel bekäme dadurch eine Soll-Biegestelle. „Können wir das schon

Einzelne Elemente können durch ihre innere molekulare Struktur in die Lage versetzt werden, auf äußere Belastungen zu reagieren (Pfeile). Das abgebildete Einzelelement ist so konstruiert, dass es bei leichter Belastung weich wie Schaumstoff und bei starker Belastung steif wie Holz wird.

Abbildung: Matthew Berwind/IWM

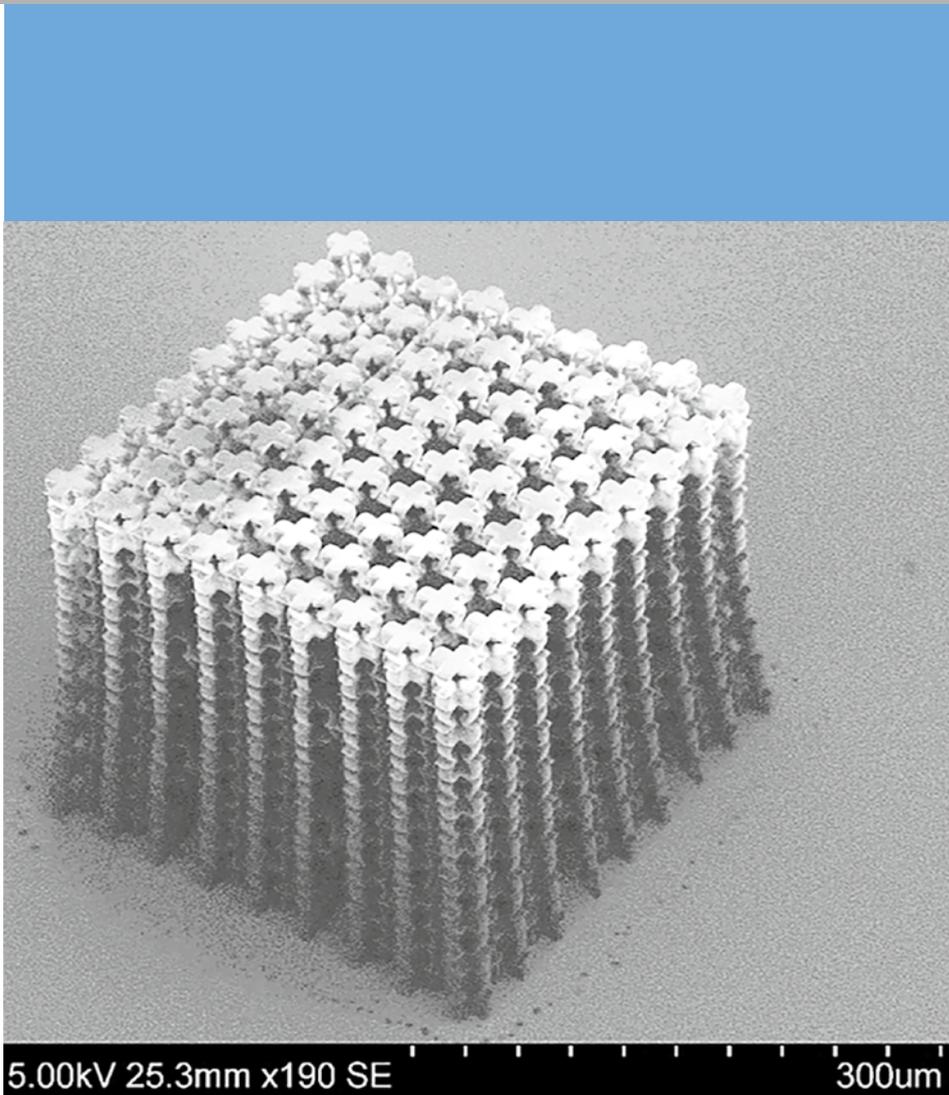


als Lernen bezeichnen?“, fragt Eberl und beantwortet die Frage gleich selbst: „Ich glaube, nein.“ Im Exzellenzcluster *livMatS* befassen sich außer Naturwissenschaftlerinnen und -wissenschaftlern auch Forschende aus der Psychologie und der Philosophie mit der Frage, was Lernen bei Materialien bedeutet: dass sie sich selbst heilen können oder sich gar verhalten, als würden sie leben?

Säulenkaktee als Vorbild

„Unsere angestrebten Materialien sind bioinspiriert“, stellt Eberl heraus. Die Forscher wollen Prinzipien aus der Natur grundlegend verstehen und für andere Zwecke adaptieren. Anregungen und Konzepte aus der Pflanzenwelt steuert Dr. Olga Speck bei, die Biomimetikspezialistin vom Botanischen Garten der Universität. Als Vorbild dient beispielsweise die vegetative Fortpflanzung mancher Säulenkakteen: Nach Regenfällen sind ihre Sprosse gefüllt und prall. Verhakt sich ein vorbeihuschendes Tier, brechen oft Teile ab – „an einer Sollbruchstelle“, betont Eberl. Strukturen im Spross lenken den Druck an die besagte Stelle, die zudem ein bisschen fragiler angelegt ist. Die Wunde am Kaktus schließt sich, um Wasserverluste zu verhindern. Die Bruchstücke fallen auf den feuchten Boden und wachsen an. Ganz anders zur Trockenzeit: Dann sind die Kakteen weich, und ihre labbrigen Sprosse biegen sich, aber brechen fast nie. Schließlich würden abfallende Teile wegen des Wassermangels am Boden vertrocknen.

„Für ähnliche Fähigkeiten bräuchten technische Systeme viele Komponenten“, sagt Eberl: Feuchtigkeitssensoren, adaptives Material, Verhakungssensoren, Prozessoren, um die Daten zu verarbeiten, Energiequellen und mehr. „Diese Elemente wollen wir strukturell implementieren.“ In zwei Jahren hofft er ein Material zu haben, das einfache Grundfunktionen erfüllt, zuverlässig arbeitet, möglichst ausdauernd ist und recycelt werden kann. Die Kaktee darf nicht an der falschen Stelle brechen, und Kabinenwände in der Marsfähre müssen sich auch noch beim 1001. Mal wunschgemäß zum weichen Sofa verformen. Eberl denkt über Alternativen nach, falls sich die Marsmission lange verzögern sollte. Dann böten sich die ISS oder Pol-Forschungsstationen für Shape-Morphing-Wände an: „Das Prinzip wäre überall dort nützlich, wo der Platz stark begrenzt ist.“



Mechanisch programmierbare Metamaterialien bestehen aus vielen einzelnen Elementen, die in konzertierter Weise zusammenwirken, um Systemfunktionen auszuführen.

Abbildung: Matthew Berwind/IWM



Prof. Dr. Chris Eberl

hat Werkstoffwissenschaften an der Universität Stuttgart studiert und am Max-Planck-Institut für Metallforschung seine Doktorarbeit über Materialermüdung geschrieben. Danach forschte er unter anderem an der Johns Hopkins University in Baltimore/USA. Parallel leitete er eine Nachwuchsgruppe am Karlsruher KIT. Seit 2012 ist er am Freiburger Fraunhofer-Institut für Werkstoffmechanik (IWM) tätig, seit 2014 als stellvertretender Institutsleiter. 2018 wurde er außerdem wissenschaftlicher Koordinator des „Fraunhofer Cluster of Excellence Programmable Materials“. Seit 2014 arbeitet er mit einer Otto-Hahn-Medaille ausgezeichnete Wissenschaftler auch als Professor für Mikro- und Werkstoffmechanik an der Universität Freiburg. Er ist Mitglied im Exzellenzcluster livMatS.

Foto: Fraunhofer IWM, Foto Stock-Müller, Freiburg

Zum Weiterlesen

Specht, M., Berwind, M., Eberl, C. (2020): Adaptive Wettability of a Programmable Metasurface. In: Advanced Engineering Materials. DOI: 10.1002/adem.202001037

Fischer, S. C. L., Hillen, L., Eberl, C. (2020): Mechanical Metamaterials on the Way from Laboratory Scale to Industrial Applications: Challenges for Characterization and Scalability. In: Materials 2020, 13(16), 3605. DOI: 10.3390/ma13163605

Berwind, M. F., Kamas, A., Eberl, C. (2018): A hierarchical programmable mechanical metamaterial unit cell showing metastable shape memory. In: Advanced Engineering Materials, 20 (11), Art. 1800771. DOI: 10.1002/adem.201800771

Die Ampel im Gehirn

Mit Optogenetik lässt sich das Zusammen-
spiel bei Bewegungsabläufen aufdecken

von Anita Rüffer



Warten oder loslaufen: Das Bild einer Ratte, die eine Ampel betrachtet, setzt sich künstlerisch mit der Balance zwischen Bewegungsinhibition (rot), -vorbereitung (gelb) und -durchführung (grün) auseinander.

Foto: Michael Veit



Das Foto von der Ratte, die vor einer grünen Ampel sitzt, hat es zum Vergnügen von Prof. Dr. Ilka Diester sogar in eine Polizeipublikation geschafft. Aber natürlich wartet keine Ratte auf Grün, bis sie eine Straße überquert. Die Ampel ist lediglich ein Bild für das, was sich in ihrem Gehirn abspielt, bevor sie auf einen äußeren Reiz hin eine Bewegung ausführt. Dabei streiten unterschiedliche Hirnareale darüber, ob sie nun loslegen oder lieber noch warten soll. Wie dieses komplizierte Zusammenspiel von hemmenden und aktivierenden Impulsen im Gehirn genau funktioniert, erforschen die studierte Biologin mit einer Professur für Optophysiology und ihre Arbeitsgruppe im Rahmen des Exzellenzclusters BrainLinks-BrainTools und des Bernstein Centers an der Universität Freiburg.

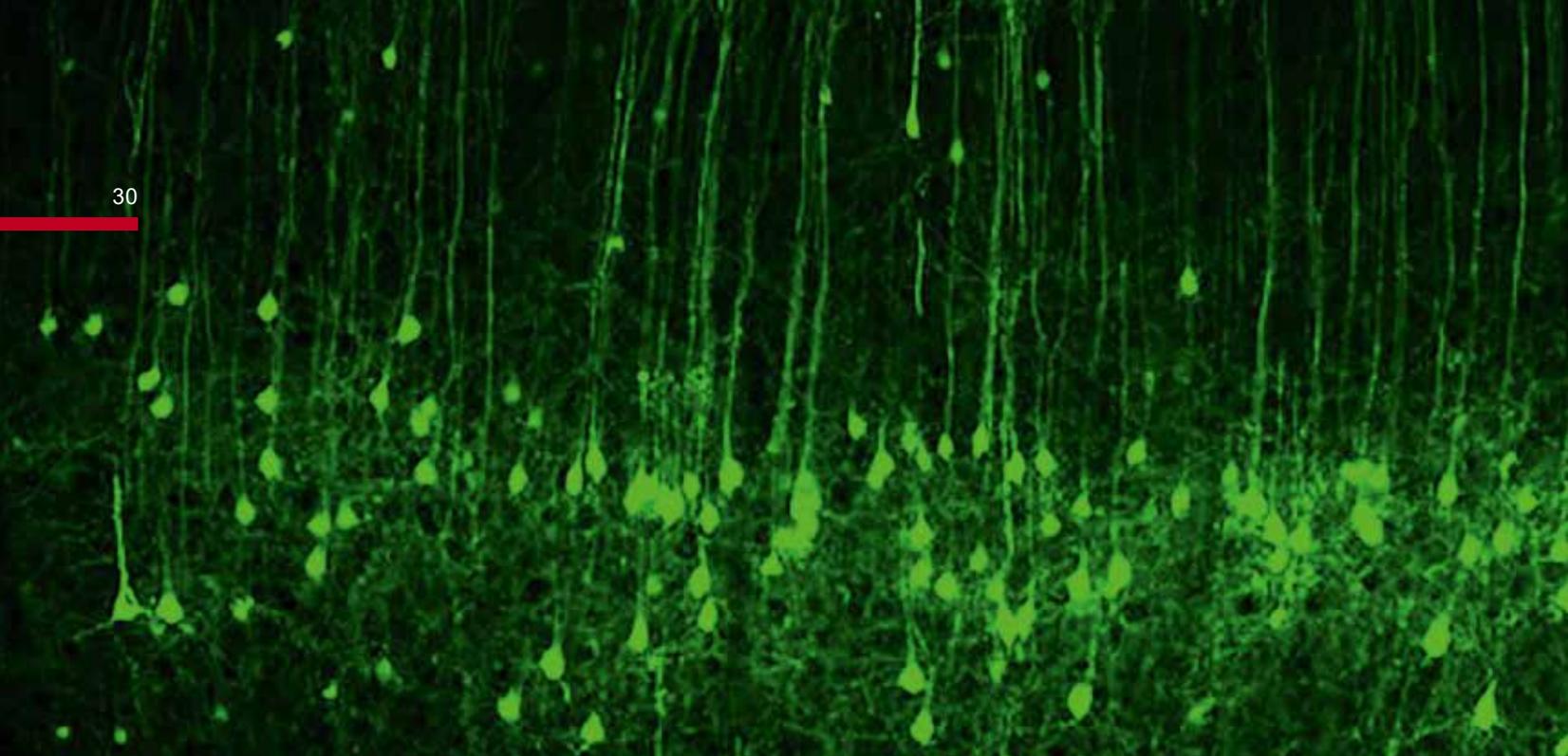
Nicht anders als der Ratte geht es Betroffenen von Kauf- oder Alkoholsucht: Sie kennen das Tauziehen im Gehirn zwischen den Bremsern und den Antreibern. Würde man diese Mechanismen genau verstehen, könnte man sie vielleicht beeinflussen. Davon könnten auch Menschen profitieren, denen alles Antreiben nichts nützt, weil die Signale, die das Hirn aussendet, damit sie einen Fuß vor den anderen setzen, in der Muskulatur gar nicht ankommen, wenn beispielsweise ein Unfall ihr Rückenmark durchtrennt hat. Längst arbeiten Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler unterschiedlicher Disziplinen an der Entwicklung von Neuroprothesen, die über Signale aus dem Gehirn gesteuert werden. In Echtzeit entschlüsselt ein Computer die Signale, wertet sie aus und leitet sie an die Prothese weiter, die sich daraufhin in Bewegung setzen kann. Diester vergleicht das durchtrennte Rückenmark mit einer eingebrochenen Brücke. Die Lücke werde überbrückt mit Computeralgorithmen. Aber womit müssen diese „gefüttert“ werden? Aus dem „großen Rauschen“ im Gehirn genau die Signale herauszufiltern, die direkt für die Bewegungskontrolle zuständig sind, dazu ist die Professorin mit ihrer Forschung angetreten. Sie

steuert die Sicht der Biologin auf die verschiedenen Zelltypen und deren Rollen in den beteiligten Hirnarealen bei.

Der Weg der Befehle

Als „Tor zur Bewegung“ gilt der motorische Kortex im hinteren Teil des Frontallappens. Bevor dieser aber eine Muskelbewegung anzettelt, erklärt die Freiburger Forscherin, muss er von der „Denkzentrale“ im präfrontalen Kortex erst mal den Befehl dafür bekommen. Dort im Stirnlappen wird etwa entschieden, dass der rechte Arm sich nach einer Tasse Kaffee ausstrecken soll. Bei der praktischen Ausführung tritt der motorische Kortex in Aktion. Das Problem: Kein Teil ist nur für das eine oder das andere zuständig. „Entscheidungsanteile gibt es auch im motorischen Kortex, und auch im präfrontalen Kortex werden Bewegungen angestoßen“, sagt Diester. Und, was die Sache vollends kompliziert macht: Hemmende Gegenspieler sind immer in der Nähe. Das innerkortikale Tauziehen hat nach ihren Erkenntnissen durchaus seinen Sinn: „Es macht das Gehirn flexibel.“ So kann es situationsangemessen auf äußere Reize reagieren, statt mechanisch einer immer gleichen Regel zu folgen.

Was genau sich dabei abspielt, lässt sich im Tierexperiment in Echtzeit beobachten und sogar manipulieren. Diester hat sich dafür eine einfache Versuchsanordnung ausgedacht: Eine Ratte in einem gläsernen Behälter ist darauf konditioniert, einen Hebel zu drücken, wofür sie mit einer Zuckerlösung belohnt wird. Ein Ton aus einem Lautsprecher signalisiert ihr, wann sie loslassen soll. Die Wissenschaftler variieren die Wartezeiten auf den Ton. Dabei beobachten sie, wie die Ratte sich jeweils verhält. Elektroden messen dabei das Aktionspotenzial in den Zellen der beteiligten Hirnareale, und bildgebende Verfahren machen unterm Mikroskop sichtbar, welche Nervenzellen und -stränge jeweils aktiviert werden und miteinander kommunizieren.



Dafür bedienen sich die Forschenden eines speziellen und noch jungen Handwerkszeugs: der Optogenetik. Diese macht sich ein lichtempfindliches Molekül namens Opsin zunutze, das nicht nur in den Fotorezeptoren der menschlichen Netzhaut eine Rolle spielt, sondern auch Grünalgen den Weg zum Licht weist. Das Membranprotein sorgt dafür, dass sich Kanäle in der Zellhülle öffnen, sobald Licht in Form von Photonen auf sie trifft, so dass beispielsweise positiv geladene Ionen eindringen können. Das Membranpotenzial steigt an, was weitere spannungsabhängige Kanäle öffnet und die Grünalge in Bewegung setzt. „Sie wechselt vom Paddel- in den Brustschwimmmodus“, erklärt Diester – ein treffendes Bild für die rasante Power, die sich dabei entlädt.

Schaltkreis der Synapsen

Der Kommunikation zwischen Nervenzellen liegen ähnliche Mechanismen zugrunde. Über ein Netz von Synapsen sind sie wie in einem komplexen elektrischen Schaltkreis miteinander verknüpft. Wollen sie eine Botschaft weiterverbreiten, schütten sie Botenstoffe, die Neurotransmitter, aus. Docken diese an der adressierten Nervenzelle an, reagieren die Membranproteine in deren Hülle, indem sie ihre Kanäle öffnen und positive Natriumionen einlassen. Das schlagartig steigende Aktionspotenzial in der Zelle öffnet kaskadenartig weitere Natriumkanäle entlang der Nervenfasern, an deren Enden, den Synapsen, wiederum Neurotransmitter ausgeschüttet werden. Die ablaufende Kettenreaktion ist ein Selbstläufer. Ebenso wie aktivierende können auch hemmende Neurotransmitter ausgeschüttet werden, die für ein negatives Membranpotenzial sorgen und die Neuronen in einen Ruhezustand

versetzen. Was die Nervenzellen nicht können: auf Licht reagieren. Aber das lässt sich ändern: Mittels eines „Shuttles“ aus abgeschwächten Viren injizieren Diester und ihr Team ihrem Rattenmodell ein DNA-Konstrukt aus Opsin-Genen und weiteren Bestandteilen, damit diese an die richtige Stelle der an Bewegungen beteiligten Hirnarealen gelangen und die fluoreszierenden Zellen markieren. Am Kopf der Ratte sitzt ein kleines Implantat, an das ein Lichtfaserkabel angeschlossen ist. Die Neuronen der Ratte arbeiten weiter wie gewohnt. Allerdings kann man ihnen jetzt unter Zufuhr von Licht dabei zuschauen und beobachten, was passiert, wenn sie manipuliert werden, indem einzelne Nervenstränge oder Hirnareale wie mit einem Lichtschalter gezielt ein- oder ausgeschaltet werden. Blaues Licht lässt die Opsin enthaltenden Nervenzellen aktiv werden. Mit gelbem Licht lassen sie sich hemmen.

„Es macht das Gehirn flexibel“

Das hat deutliche Auswirkungen auf das Verhalten der Ratte, deren Gehirn funktionale Analogien zum Menschen aufweist. Die Areale des Frontallappens heißen nur anders. Auch bei der Ratte findet ein inneres Tauziehen statt, bis die Ampel von Rot über Gelb auf Grün springt und das Signal zum Loslassen des Hebels in der Versuchsanordnung gibt. Rot leuchtet sie im prälimbischen Kortex, einem Teil des medialen Frontallappens, der Impulse unterdrückt. Ein anderer Teil, der infralimbische Kortex, verstärkt den Impuls und steht für Gelb. Der ventrale orbitale Frontallappen, nur Bruchteile von Millimetern

Die Optogenetik ist ein besonderes Werkzeug in der Hirnforschung: Der Mischung aus optischen Technologien und Genetik erlaubt es Forschenden, präzise die Aktivität von Nervenzellen zu kontrollieren.

Foto: Ilka Diester

daneben, beeinflusst die Fähigkeit, schnell zu reagieren. Wurde der prälimbische Kortex optogenetisch komplett ausgeschaltet, ließ die Ratte den Hebel in der Versuchsanordnung zu früh los. Sie konnte nicht warten, bis das Signal ertönte. Besser warten konnte sie, wenn der infralimbische Kortex gehemmt wurde.

Zusammen mit Informatikerinnen und Informatikern wurden komplizierte Laborapparaturen zum Beobachten, Messen, Auswerten und Dokumentieren entwickelt und gebaut. Nicht nur für Informatiker bringe das einen Mehrwert in Form von Erkenntnisgewinnen, erläutert Diester. Auch Forschende im Bereich der Robotik, der Medizintechnik sowie der klinischen Anwendung könnten in dem Forschungscluster gemeinsam mit den Biologinnen und Biologen von diesen neu gewonnenen Erkenntnissen profitieren.

Zum Weiterlesen

Karvat, G., Schneider, A., Alyahyay, M., Steenbergen, F., Tangermann, M., Diester, I. (2020): Real-time detection of neural oscillation bursts allows behaviourally relevant neurofeedback. In: *Nature Communications Biology*. DOI: 10.1038/s42003-020-0801-z

Deubner, J., Coulon, P., Diester, I. (2019): Optogenetic approaches to study the mammalian brain. In: *Current Opinion in Structural Biology*, 57, S. 157–163. DOI: 10.1016/j.sbi.2019.04.003

Hardung, S., Epple, R., Jäckel, Z., Eriksson, D., Uran, C., Senn, V., Gibor, L., Yizhar, O., Diester, I. (2017): A functional gradient in the rodent prefrontal cortex supports behavioral inhibition. In: *Current Biology*, 27, S. 549-555. DOI: 10.1016/j.cub.2016.12.052



Prof. Dr. Ilka Diester

hat an der Humboldt-Universität zu Berlin Biologie studiert. 2008 wurde sie an der Universität Tübingen promoviert und arbeitete anschließend an der Stanford University in Kalifornien/USA. 2011 kehrte sie nach Deutschland zurück und etablierte am Ernst Strüngmann Institute for Neuroscience (ESI) in Frankfurt eine unabhängige Arbeitsgruppe. Sie erhielt mehrere Auszeichnungen, darunter einen ERC Starting Grant, den FENS Research Award, den Till Photonics Prize und den Bernstein-Preis. 2014 übernahm sie die im Rahmen des Exzellenzclusters BrainLinks-BrainTools neu geschaffene Professur für Optophysiology, die der Fakultät für Biologie zugeordnet ist. Sie ist Mitglied des Sprecherteams von BrainLinks-BrainTools. Zu ihren Forschungsschwerpunkten zählen die neuronalen Grundlagen der motorischen und kognitiven Aktionskontrolle und die Weiterentwicklung optogener Werkzeuge. Seit 2016 ist sie Mitglied des FENS Kavli Networks of Excellence.

Foto: Thomas Kunz



Diamanten aus dem Labor

Künstliche Kristalle für kleine und hochempfindliche Sensoren

von Claudia Fübler

In Reaktoren des Fraunhofer IAF ist hochreines Methangas die Kohlenstoffquelle zur Entstehung der begehrten Kristalle.

Foto: Fraunhofer IAF

Ja“, sagt Prof. Dr. Oliver Ambacher, „wir machen hier Diamanten.“ Für jede Art von technischer Applikation, in der mit Diamanten gearbeitet wird, sind die in großer Tiefe und bei einem Druck von bis zu 20 Gigapascal vor Millionen von Jahren entstandenen natürlichen Diamanten schlicht zu schmutzig: „Für unsere Forschung darf unter einer Million Atomen vielleicht ein falsches sein. Das kommt in der Natur einfach nicht vor“, erklärt der Leiter des Fraunhofer-Instituts für Angewandte Festkörperphysik IAF in Freiburg. Also stellt das Institut die benötigten Diamantkristalle künstlich her.

In der Natur ist es Kohlenstoff aus abgestorbenen Pflanzen, der unter Druck und bei hohen Temperaturen tief unter der Erdoberfläche zu Diamant gepresst wird. In den Reaktoren des IAF hingegen bildet Methangas die Kohlenstoffquelle. Das Gas ist hochrein und besteht außer aus Kohlenstoff lediglich aus Wasserstoff. „Wir dissoziieren Methan in einem Plasma, so dass Wasserstoff und Kohlenstoff getrennt werden“, sagt Ambacher. Der künstliche Diamant entsteht dann schichtweise mithilfe der so genannten plasmaunterstützten chemischen Gasphasenabscheidung in einer Vakuumkammer. Bei 800 Grad Celsius wachsen auf den Substraten einige Hundert Mikrometer Diamant. So genannte Einkristalle wachsen – wenn sie ein durchgehend homogenes Kristallgitter bilden und somit perfekt sind – etwa einen Mikrometer pro Stunde. „Um einen Kristall mit einem Gewicht von einem Karat, also 0,2 Gramm, zu erhalten, dauert es zwei Monate“, erklärt Ambacher. Beschleunigen lässt sich das Verfahren kaum, wohl aber vervielfältigen. In den Reaktoren können mehrere Hundert Diamanten gleichzeitig wachsen.

Sensoren im Miniaturformat

Am IAF in Freiburg wird seit mehr als zwei Jahrzehnten Diamant nach dieser Methode hergestellt. „Anfangs war er vor allem wegen seiner Härte gefragt. Auf die Idee, die Diamanten auch für Sensoren, Bauelemente oder in der Quantentechnologie zu nutzen, ist man gar nicht gekommen“, erinnert sich Ambacher. Das hat sich inzwischen geändert. Bei der Analyse von Fehlern elektronischer Schaltungen sind Diamant-Quantensensoren heute sehr gefragt. Da die elektronischen Bauelemente immer kleiner werden, braucht es zur Analyse ebenso kleine wie hochempfindliche Sensoren. „Unser Quantensensor

misst sehr kleine Magnetfelder. Da jeder Stromfluss in einer elektronischen Schaltung ein Magnetfeld verursacht, können wir so die Ströme in elektronischen Schaltungen sichtbar machen und Rückschlüsse auf mögliche Fehlfunktionen ziehen“, erklärt der Forscher.

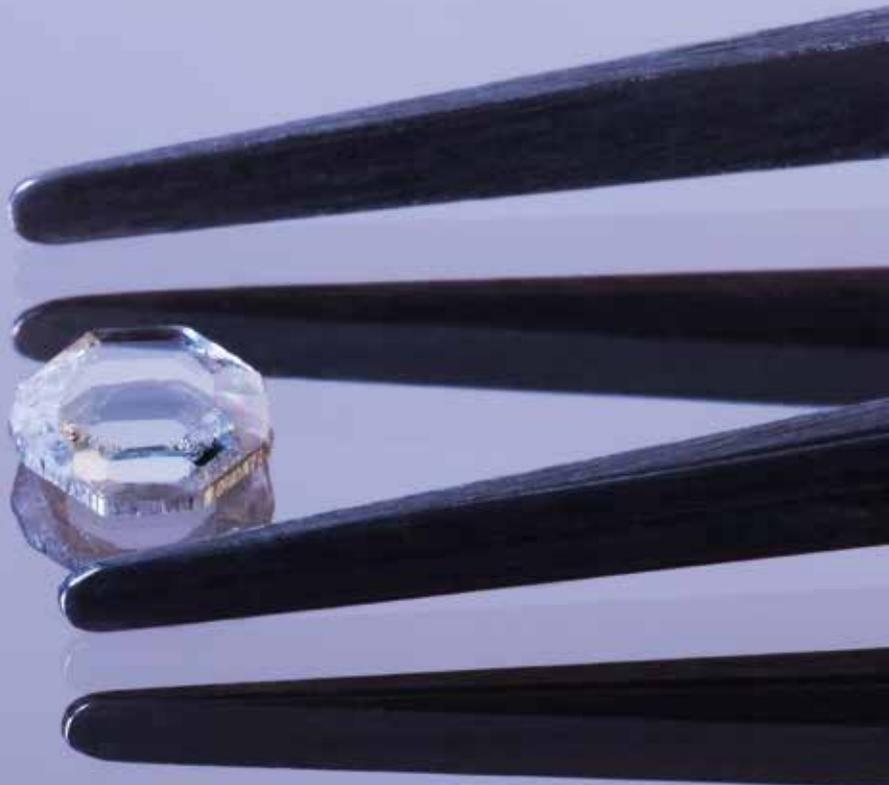
„Das kommt in der Natur einfach nicht vor“

Bisher werden solche Magnetfelder mit supraleitenden Sensoren gemessen, die aufwendig gekühlt werden müssen. Das ist mit Ortsauflösungen bis in den Mikrometerbereich möglich. Moderne elektronische Schaltungen besitzen Bauelemente und Strompfade mit Abmessungen von weniger als 100 Nanometern. Daher streben Ambacher und sein Team Messungen mit Auflösungen im Bereich von 10 bis 20 Nanometern an. Um kleine Ströme und entsprechend schwache Magnetfelder messen zu können, braucht es mikroskopisch kleine Sensoren. „Also greifen wir zum kleinsten Magneten auf der Erde – einem Elektron“, erklärt Ambacher. Aufgrund ihres Drehimpulses erzeugen Elektronen ein – im Verhältnis zu ihrer Größe – starkes Magnetfeld. Ein starker Magnet, der winzig ist, eignet sich perfekt, um ihn über die Schaltungen zu führen und zu messen, ob er von der zu untersuchenden elektrischen Schaltung angezogen oder abgestoßen wird. Das Problem: So ein Elektron lässt sich nicht einfach in die Hand nehmen. Die Lösung: Man muss es im Diamanten einfangen.

Dafür schichten die Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler am IAF beim Wachstum von Diamanten nicht nur Kohlenstoffatome, sondern fügen etwa zehn Nanometer unter der Spitze eine Lage Stickstoff ein. Stickstoff besitzt ein Elektron mehr als Kohlenstoff. Dann schießen die Forschenden mit einem Elektronenstrahl senkrecht von oben auf den Diamanten. Dort, wo der Strahl auf die Stickstoffschicht trifft, wird ein Kohlenstoffatom weggesprengt. Es entsteht ein „Loch“ im Diamantgitter, ein so genanntes Stickstoff-Vakanzenzentrum, das als NV-Zentrum bezeichnet wird, weil es vom englischen Begriff nitrogen vacancy abgeleitet ist. Dort kann das überzählige Elektron des Stickstoffs hineinfallen. Mit diesem Elektron in der Diamantspitze können die Wissenschaftler

*Sauberer als aus der Natur:
Für technische Applikationen
sind die Diamanten aus dem
Labor besser geeignet.*

Foto: Fraunhofer IAF



dann die Magnetfelder messen. „Ideal wäre es, das Elektron noch weiter nach vorn in die Spitze zu bringen, dann könnten wir umso genauer damit navigieren und umso präzisere Messungen erstellen“, sagt Ambacher. Der Diamant fungiert in diesem Fall also als eine Art Halterung für das Elektron. Da Diamant ein sehr harter Kristall mit sehr festen Bindungen ist, bewegen sich seine Atome selbst bei Raumtemperatur nur wenig. Das Elektron wird daher während des Messvorgangs kaum beeinträchtigt. Deshalb ist Diamant ein perfektes Zuhause für diesen kleinsten Sensor der Welt.

Mögliche Anwendungsbereiche

Auch wenn Diamanten eine schier unglaubliche Härte nachgesagt wird: Die 30 bis 50 Mikrometer lange Spitze der künstlich produzierten Kristalle ist sehr fein und kann zerbrechen. Einen solchen Diamanten wachsen zu lassen dauert einige Stunden. Ambacher und sein Team arbeiten zurzeit an der Feinjustierung der Anlage. Die Diamanten samt Sensorelektronen sollen so rein und perfekt wie möglich sein, gleichzeitig muss jeder von ihnen in ein Komplettsystem eingebettet werden, das für die Nutzer gut handhabbar ist. Wer aber kann so einen mikroskopisch kleinen Sensor überhaupt gebrauchen? Beispielsweise jemand, der Fehler in nanoelektronischen Schaltungen oder Festplatten aufspüren möchte. Oder Medizintechnikerinnen und -techniker, die einen Miniatur-Kernspintomografen für die Zahnmedizin bauen möchten. Die Entwick-

lung der Freiburger Forschenden soll die medizinische Diagnostik beschleunigen, so dass die oft quälend lange Zeit, die Patienten im Tomografen liegen müssen, verkürzt wird. „Unser Ziel ist es, auf der Basis von Grundlagenforschung ein Produkt herzustellen, das einen wesentlichen Fortschritt für Anwendungen in der Medizintechnik und Nanoelektronik mit sich bringt“, sagt Ambacher.

Dafür sucht sich der Institutsleiter Partner außerhalb des Instituts. Ein interessanter Kandidat sei zum Beispiel eine Firma, die leistungsstarke Quantenmagnetometer produziere, sagt Ambacher. Darüber hinaus beschäftigen sich die Freiburger Wissenschaftler mit Laserschwellenmagnetometern, die kleinste Magnetfelder in neuronalen Netzen oder Gehirnströmen messen sollen. Dafür könnten Diamanten mit ein paar Millionen NV-Zentren eingesetzt werden. Ein mögliches Einsatzgebiet sei auch die Kernspintomografie von Zähnen, so Ambacher. „Im Mund ist nicht viel Platz, da sind kleine Sensoren gefragt.“

Kunstdiamant versus Supraleiter

Doch eigentlich denkt Ambacher lieber groß. So würde er mit den Kunstdiamanten gerne gegen die gängigen Supraleiter ankommen. Für Halbleiter allerdings braucht es große Flächen. „Die Kristalle auf eine mindestens 100 Millimeter breite Schreibe skalieren zu können, das ist die Herausforderung.“ Weil Diamantkristalle gerne in die

Höhe, jedoch nicht in die Breite wachsen, muss hier ein anderes Verfahren her: Viele kleine Kristallwürfel sollen eine Scheibe bilden. Wie das funktionieren soll? „Da stehen wir noch am Anfang, aber ich bin sicher, uns fällt da was Gutes ein“, sagt Ambacher optimistisch.

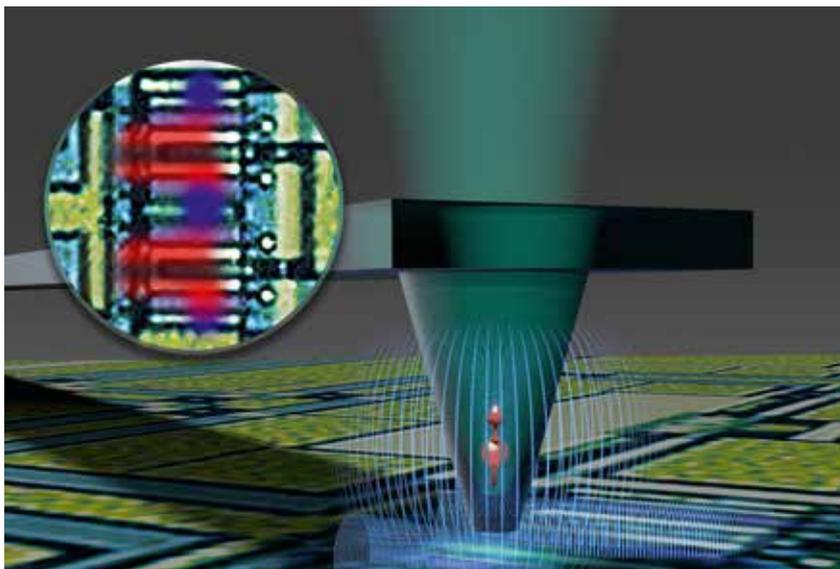
www.imatech.de/oliver-ambacher

www.pr.uni-freiburg.de/go/diamanten-aus-dem-labor



Prof. Dr. Oliver Ambacher studierte Physik in Köln und München und wurde an der Technischen Universität München promoviert. 1993 erhielt er eine Stelle als wissenschaftlicher Assistent am Walter-Schottky-Institut der TU München. Er war maßgeblich beteiligt an der Realisierung von ersten UV-Detektoren, Oberflächenwellen-Bauelementen, Mikrowellenverstärkern und Sensoren sowie an der Erforschung polarisations-induzierter Effekte in GaN-basierenden Hetero- und Quantenstrukturen. Nach seiner Habilitation im Fach Experimentalphysik im Jahr 2000 wurde er zum Professor für Nanotechnologie an der Technischen Universität Ilmenau ernannt. 2002 erfolgte die Wahl zum Direktor des Instituts für Festkörperelektronik, zwei Jahre später die Ernennung zum Direktor des Zentrums für Mikro- und Nanotechnologien der TU Ilmenau. Seit Oktober 2007 ist er Professor an der Universität Freiburg sowie Leiter des Fraunhofer-Instituts für Angewandte Festkörperphysik IAF, wo er sich mit der Entwicklung von Quantensensoren und elektronischen Komponenten für Quantencomputer beschäftigt.

Foto: Klaus Polkowski



Das schematische Bild zeigt eine Diamantspitze mit dem orientierten magnetischen Moment eines Elektrons, welches als Sensor zur Vermessung des magnetischen Feldprofils einer elektronischen Schaltung genutzt wird. Foto: Fraunhofer IAF

Zum Weiterlesen

Maletinsky, P., et al. (2012): A robust scanning diamond sensor for nanoscale imaging with single nitrogen-vacancy centres. In: *Nature Nanotechnology*, 7, S. 320–324. DOI: 10.1038/nnano.2012.50

Zaiser, S. et al. (2016): Enhancing quantum sensing sensitivity by a quantum memory. In: *Nat Commun*, 7, S. 12279. DOI: 10.1038/ncomms12279

Schirhagl, R. et al. (2014): Nitrogen-vacancy centers in diamond: nanoscale sensors for physics and biology. In: *Annual Review of Physical Chemistry*, 65, S. 83–105. DOI: 10.1146/annurev-physchem-040513-103659



Ein Stern und seine Varianten

Die Suche nach der besten Form der gendergerechten Sprache

von Jürgen Schickinger

Beidnennung, Schrägstrich, Binnen-I, Genderstern, Unterstrich oder Doppelpunkt: Freiburger Forscherinnen untersuchen, wie sich geschlechtergerechte Sprache schriftlich und mündlich sinnvoll umsetzen lässt.

Foto: Sandra Meyndt

Im Jahr 2020 ging ein Stern im Duden auf: Das Wörterbuch der deutschen Rechtschreibung nahm eine Erläuterung zum Gendersternchen auf. „Bei uns läuft schon seit rund 40 Jahren eine Debatte über geschlechtergerechte Sprache“, sagt Prof. Dr. Helga Kotthoff von der Germanistischen Linguistik der Universität Freiburg. Trotzdem sind noch viele Fragen offen: Welcher Sprachgebrauch schließt alle Geschlechter ein, und wie lässt sich geschlechtergerechte Sprache schriftlich und mündlich sinnvoll umsetzen? Weckt sie die gewünschten Assoziationen? „Dazu gibt es zu wenig Forschung“, bedauert Prof. Dr. Evelyn Ferstl, Kognitionswissenschaftlerin und Genderforscherin vom Institut für Psychologie der Universität Freiburg. Deshalb wollen Ferstl und Kotthoff zusammen mit Prof. Dr. Damaris Nübling von der Universität Mainz die wissenschaftliche Grundlage für geschlechtergerechte Sprache stärken.

Ihre Ergebnisse sollen die hitzige Auseinandersetzung über das Thema versachlichen. In den Medien ist gelegentlich von „Genderkrieg“ die Rede. „Die öffentliche Debatte blendet Zwischentöne aus“, erklärt Kotthoff. Und Ferstl ergänzt: „Teils verschärfen auch Antifeministen und Rechte die Debatte.“ Zuweilen fallen harsche Worte wie „Tugendterror“ oder „Sprachdiktatur“. Zwei Lager scheinen sich unversöhnlich gegenüberzustellen. Die Vertreterinnen und Vertreter des einen fühlen sich bevormundet, verbitten sich jede äußere Einflussnahme auf die Sprache. Dabei sind die Leitfäden, die viele Städte, Universitäten und Unternehmen haben, meist zahm. Verbindliche Vorschriften machen die wenigsten. Sie empfehlen lediglich einen sensibleren Sprachgebrauch in Bezug auf die Geschlechter und geben Tipps – wie auch der aktuelle Duden auf drei Seiten. Denn die möglichen Varianten sind vielfältig: Beidnennung, Schrägstrich, Binnen-I, Genderstern, Unterstrich oder Doppelpunkt.

Emotional aufgeladene Debatte

Zugehörige des anderen Lagers klagen, das althergebrachte generische Maskulinum diskriminiere Frauen: Diese würden in Bezeichnungen wie „Arzt“, „Koch“, „Schüler“ und dergleichen sprachlich nicht auftauchen. Studien haben gezeigt, dass die weiblichen Formen „Ärztin“, „Köchin“, „Schülerin“, die ja existieren, die Präsenz des Femininen in der menschlichen Vorstellung

erhöhen. Darum fordern feministische Linguisten und Linguistinnen eine Sprachform, die beide Geschlechter zum Ausdruck bringt. „Sie zweifeln an, dass Schülerinnen in dem Wort ‚Schüler‘ mit eingeschlossen sind“, so Ferstl. Ihnen gilt der tradierte Gebrauch des generischen Maskulinums als Symptom der sozialen Diskriminierung von Frauen.

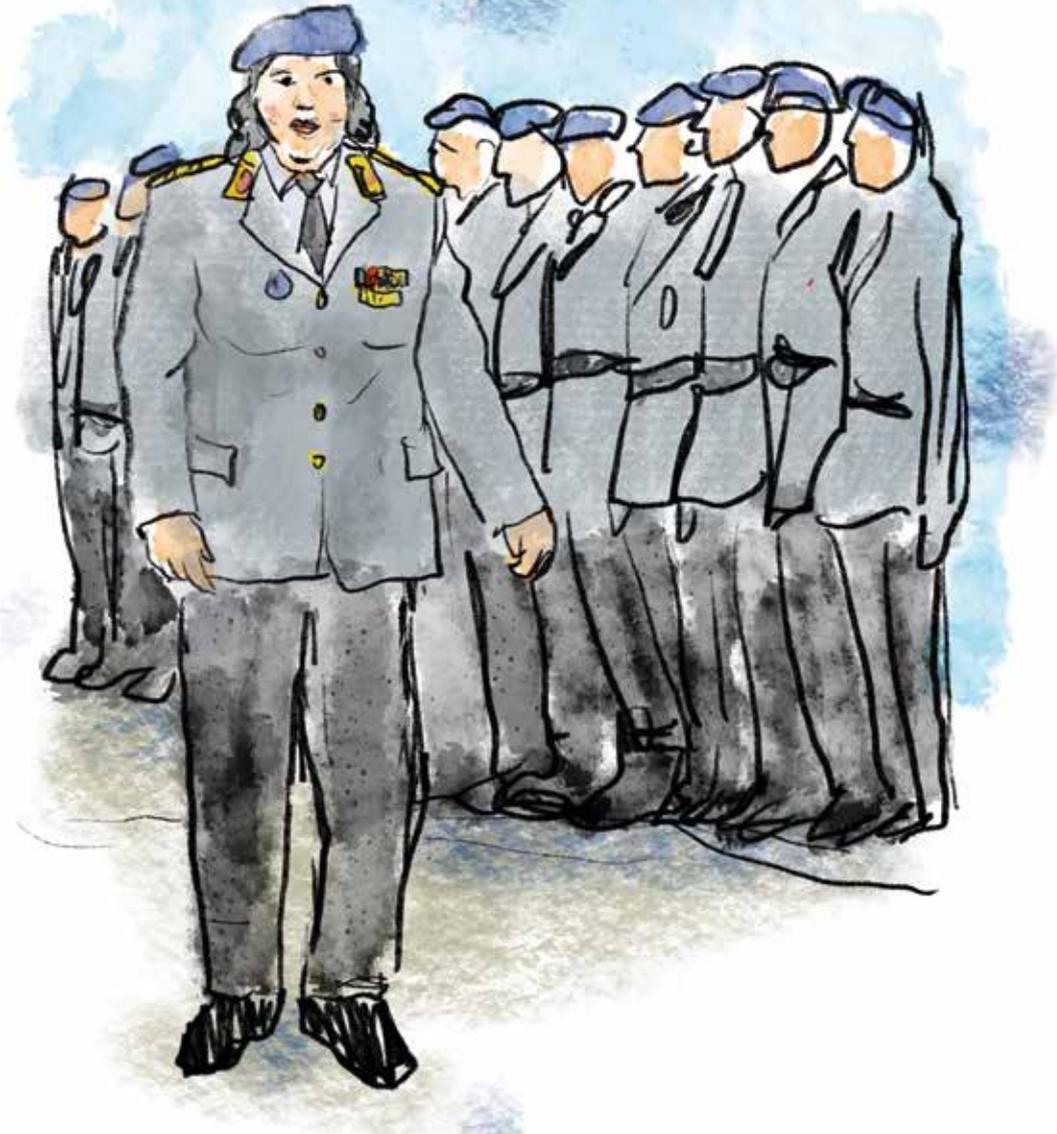
„Später hat sich die Debatte teils in den Raum queerer Theorien verlagert“, fährt die Kognitionswissenschaftlerin fort. Die LGBTQ-Community (lesbian, gay, bisexual, transgender, queer) stört sich oft schon an Beidnennungen: Die würden einzig das binäre Frau-Mann-Geschlechtersystem abbilden. „Darum drängt diese Gruppe auf andere Schreibweisen wie beispielsweise mit Genderstern“, sagt Ferstl. „So soll sprachlich ein breiteres Spektrum von Geschlechtsidentitäten eröffnet werden – ein Argument, das ebenfalls starke Emotionen auslöst.“

„Die öffentliche Debatte blendet Zwischentöne aus“

Nun funkelt das Gendersternchen im Duden, der noch 2018 seine Berücksichtigung ablehnte: Zu gering sei die Verbreitung, so die damalige Begründung der Redaktion. „In der Sprache ist die Sichtbarkeit von Frauen sehr gering“, bestätigt Ferstl. Das liegt wohl auch daran, dass es keine optimale Form gibt. „Wir haben zu wenig Erkenntnisse über die sprachlichen Möglichkeiten und ihre Effekte“, sagt sie.

Zwischen den Polen

Um mehr Erkenntnisse zu gewinnen, will Kotthoff zunächst die öffentliche Debatte rekonstruieren: „Was liegt zwischen den Polen Pro und Contra, auf die sich die Debatte versteift hat?“ Ein um Kompromisse bemühter „Mischstil“ etwa taucht da kaum auf. Entsprechende Texte steigen beispielsweise mit Beidnennungen ein, fahren aber uneinheitlich mit Pluralen, neutralen Begriffen, Beidnennungen und Ähnlichem fort. „Die Auswertung der Debatte ergibt vermutlich ein deutlich komplexeres Bild“, so Kotthoff. Entwickelt sich dadurch womöglich sogar ein Nachdenken darüber, wie Sprachwandel funktionieren kann?



„Der General hob den Arm, und die Kompanie setzte sich in Bewegung“: Zeigt das Bild zu diesem Satz jedoch eine Generalin, ist die Reaktionszeit von Testpersonen langsamer.

Illustration: Jürgen Oschwald

Aus der Debatte will Kotthoff wichtige Fragen ableiten, die bislang nicht gestellt wurden. Für eine Interviewstudie werden sie in einen Fragenkatalog einfließen. Einen guten Teil des Katalogs möchte Kotthoff aber flexibel gestalten: „Er soll genug Raum lassen für unerwartete Gesichtspunkte der Interviewten.“ Sie werden aus drei Gruppen kommen: Fachkolleginnen und -kollegen Kotthoffs, Akademikerinnen und Akademiker aus anderen Fachbereichen sowie Menschen aus dem nichtakademischen Milieu. „Was die letztgenannte Gruppe über die sprachlichen Reformbestrebungen denkt, ist so gut wie unbekannt“, sagt Kotthoff.

Sie wird zudem versuchen, herauszufiltern, wie Zeitungen, Fernsehsender, Videokanäle wie YouTube und andere Quellen gendern. Verbreitet sind neben dem genannten Mischstil der konservative Sprachstil, der feministische mit Binnen-I oder Schrägstrich und der Queerstil mit *, _ und Co.

„Dabei gibt es bisher keinen Beleg dafür, dass sich Menschen bei Lehrer*in oder Lehrer_in wirklich eine nichtbinäre Person vorstellen“, sagt Kotthoff.

Vorstellung und Sprache

Dieser und anderen Fragen will Ferstl mithilfe der Psycholinguistik nachgehen: „Sind Wörter mit Gendersternchen schwerer zu lesen und schwerer zu verstehen?“ Ihre Testpersonen sollen entsprechende Wörter lesen, aber auch Wörter ohne * und Wörter mit Fehlern wie „Lehrer\$in“. Nicht alle Beispiele werden in Bezug zum Gendern stehen. In einer lexikalischen Aufgabe müssen die Teilnehmenden möglichst schnell entscheiden: sinnvolles Wort – ja oder nein? „Anfangs werden wir wahrscheinlich enorme Anstiege der Reaktionszeiten beobachten, da die Wortformen noch unüblich sind“, vermutet sie, „doch mit zunehmendem Training wird der Leseprozess wohl schneller werden.“

„In der Sprache ist die Sichtbarkeit der Frauen sehr gering“

Ferstl will außerdem untersuchen, welche Assoziationen verschiedene Schreibweisen wecken: „Um experimentell zu erfassen, was sich Menschen vorstellen, verwenden wir Satz-Bild-Zuordnungsaufgaben.“ Ihre Testpersonen sollen so schnell wie möglich entscheiden, ob die Inhalte eines Satzes zu einem danach gezeigten Bild passen. Ein Beispiel könnte lauten: „Der General hob den Arm, und die Kompanie setzte sich in Bewegung“. Wenn das folgende Bild eine Generalin statt eines Generals zeigt, sind die Reaktionszeiten langsamer „Lassen die Reaktionszeiten der Testpersonen auch nicht-binäre Geschlechtsrepräsentationen erkennen, reagieren sie also schneller, wenn dabei Wörter mit Genderstern verwendet werden?“, fragt sie.

Ausdrucksmöglichkeiten ausschöpfen

Was sprachliches Gendern betrifft, bezeichnen sich Ferstl und Koffhoff selbst als moderat. „Ich bin dafür, den Sprachwandel für ein paar Jahrzehnte einem Freilauf zu überlassen“, sagt Kotthoff. Auch ihre Kollegin will die sprachliche Kreativität keinesfalls beschneiden. Aber Anregungen, etwa in Form von Leitfäden, begrüßt Ferstl, allein um das Bewusstsein fürs Gendern zu schärfen: „Sprache ist so flexibel und verfügt über so viele Ausdrucksmöglichkeiten – die sollten wir ausschöpfen!“ Irgendwann kristallisiert sich hoffentlich ein gendersensibler Sprachgebrauch heraus, der sich weitgehend von allein durchsetzt.



Prof. Dr. Evelyn Ferstl wurde 1994 an der Universität von Colorado/USA in kognitiver Psychologie promoviert. Am Max-Planck-Institut für Kognitions- und Neurowissenschaften in Leipzig habilitierte sie sich im Jahr 2006 mit Studien zur funktionellen Neuroanatomie des Textverstehens. Nach Forschungen am Hanse-Wissenschaftskolleg in Delmenhorst lehrte sie bis 2010 an der University of Sussex/England. Seit 2011 ist sie Professorin für Kognitionswissenschaft und Genderforschung an der Universität Freiburg.

Foto: Britt Schilling



Prof. Dr. Helga Kotthoff wurde 1988 an der Universität Konstanz in Linguistik promoviert. Danach arbeitete sie bis 1991 als Lektorin des Deutschen Akademischen Austauschdienstes im georgischen Tiflis. 1996 habilitierte sie sich an der Universität Wien. Ab 2001 arbeitete sie als Professorin für deutsche Sprache und ihre Didaktik an der Pädagogischen Hochschule in Freiburg. Seit 2009 ist sie Professorin für germanistische Linguistik und Deutsch als Fremdsprache an der Universität Freiburg, inzwischen aber formell im Ruhestand. Zu ihren Themenschwerpunkten gehören Interaktionsanalyse, Soziolinguistik, interkulturelle Kommunikation und Scherz-kommunikation.

Foto: Thomas Kunz

Zum Weiterlesen

Kotthoff, H. (2020): Gender-Sternchen, Binnen-I oder generisches Maskulinum, ... (Akademische) Textstile der Personenreferenz als Registrierungen? In: Linguistik online 103, 3/20, S. 105–127. DOI:<https://doi.org/10.13092/lo.103.7181>

Kotthoff, H., Nübling, D. (2018): Genderlinguistik. Eine Einführung in Sprache, Gespräch und Geschlecht. Tübingen.

Ferstl, E. C., Kaiser, A. (2013): Sprache und Geschlecht: Wie quantitative Methoden aus der Experimental- und Neuropsychologie einen Beitrag zur Geschlechterforschung leisten können. In: GENDER, Themenheft: Gender in der psychologischen Forschung, 5/3, S. 9–25.



Fortbildung im Netzwerk

In einem offenen Onlinekurs zum Thema Bioökonomie wurde Wissen nachhaltig geteilt

von Annette Hoffmann

Die Albert-Ludwigs-Universität ist beim Thema Bioökonomie breit aufgestellt. Lehrende und Forschende richteten einen inhaltlich dazu passenden MOOC, einen Massive Open Online Course, aus. Illustration: Jürgen Oswald

Verlegenheitslösungen sehen anders aus. Die Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter der Professur für Forst- und Umweltpolitik der Universität Freiburg haben beim Ausrichten des ersten MOOC, einem Massive Open Online Course, über Bioökonomie und Gesellschaft nichts dem Zufall überlassen. Zusammen mit Prof. Dr. Daniela Kleinschmit und Dr. Ida Wallin war Giurca in Freiburg für den MOOC verantwortlich. Weder das Thema noch die Form, in der Wissen und Erkenntnisse vermittelt und diskutiert wurden, waren eine Ad-hoc-Antwort auf das Coronavirus, das die Lehre in den letzten Monaten stark verändert hat.

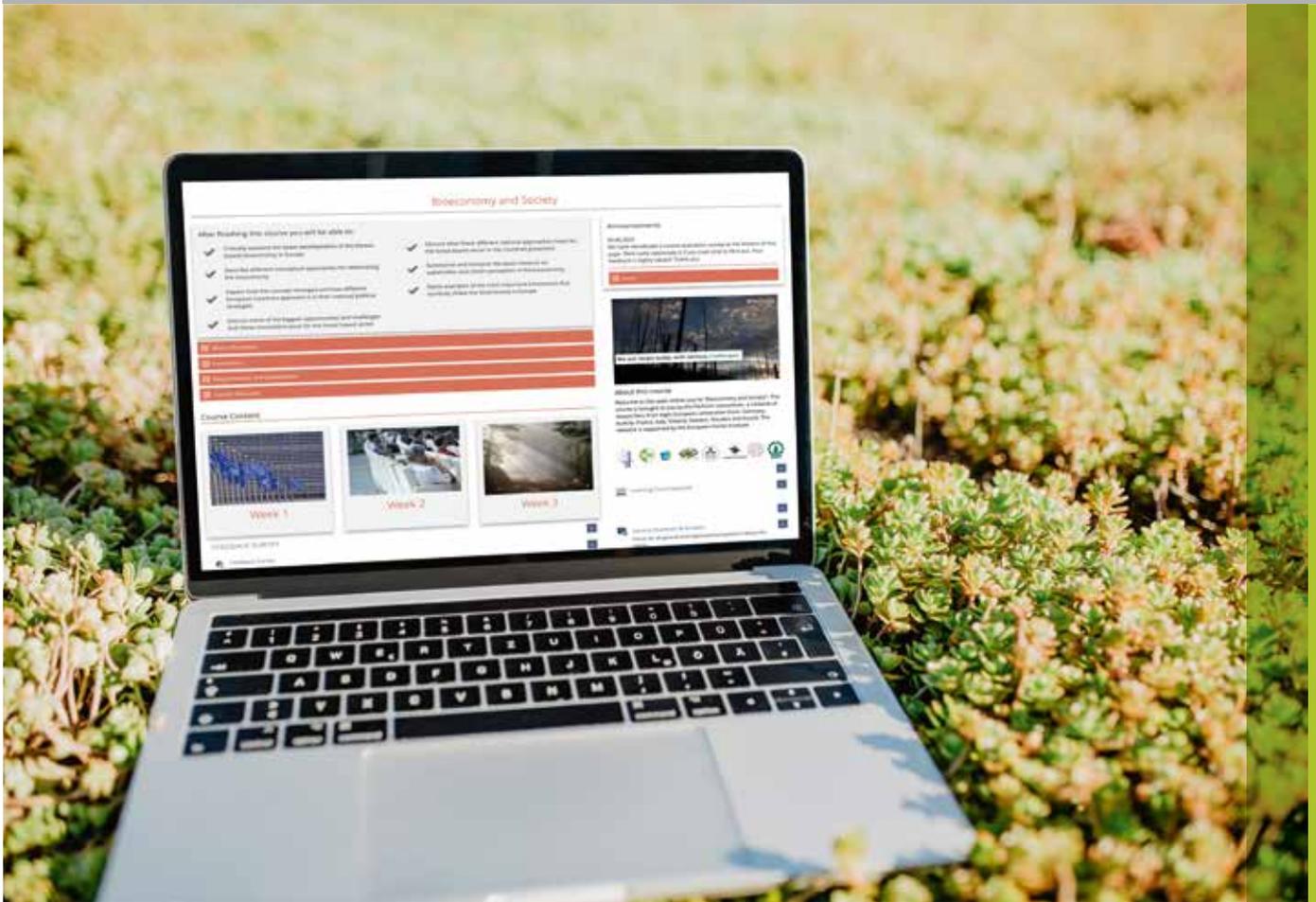
Vernetzung und kooperatives Arbeiten sind Grundlage des MOOC, der auf den Zusammenschluss von acht europäischen forstwissenschaftlichen Instituten, das Netzwerk PerForm, und dessen zweijährige Auseinandersetzung mit der Bioökonomie zurückgeht. E-Learning war in diesem Netzwerk schon von Anfang an ein wichtiges Modul, nicht zuletzt, weil die Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler über ganz Europa verstreut sind und etwa in Uppsala/Schweden, Padua/Italien, Zvolen/Slowakei, Helsinki/Finnland oder eben in Freiburg arbeiten. Dass alles ein bisschen größer wurde, lag an der gesellschaftlichen Relevanz der Bioökonomie, aber auch an der Vielzahl der Aspekte, welche die Forschenden zum Thema beitragen konnten. Die Albert-Ludwigs-Universität, die das Seminar im Sommer 2020 ausrichtete, ist hier besonders breit aufgestellt. Sie kann mit dem Fachbereich Biotechnologie praktische, aber eben auch natur-, gesellschafts- und sozialwissenschaftliche sowie ökologische und Nachhaltigkeitsaspekte abdecken.

„Aktuell geht es darum, die klassischen Forstwissenschaftlerinnen und Forstwissenschaftler und den Innovativsektor zusammenzubringen“, sagt Giurca. Die Argumente der Forstwissenschaft sind

ihm geläufig. Sie lauten: Bioökonomie machen wir im Wald schon seit hundert Jahren, und der Holzsektor ist seit Jahrzehnten nachhaltig und biobasiert. Doch es geht um mehr: Für die Bioökonomie ist Holz eine wichtige nachwachsende Ressource, aus der nicht allein innovative Baustoffe entwickelt werden. Ingenieure interessieren sich auch für Lignin, den Stoff, der für die Verholzung des Baums zuständig ist. Aus ihm werden Medikamente oder auch Biochemikalien hergestellt.

Studierende, Entscheider, Laien

Dass auf diesem Gebiet bundesweit wie auch international viel geforscht wird, ist politisch gewollt. 2010 hat die Bundesregierung die auf sechs Jahre angelegte Forschungsstrategie „Bioökonomie 2030“ aufgelegt. Doch das Konzept ist älter. Giurca beruft sich auf den rumänischen Mathematiker Nicholas Georgescu-Roegen, der in den 1970er Jahren mit seinen Forschungen die Grundlage für eine ökologische Ökonomie gelegt hat. „Einerseits herrscht ein großer Fortschrittsoptimismus, andererseits werden Zweifel an der Nachhaltigkeit der Bioökonomie geäußert“, beschreibt Giurca die derzeitige Gemengelage. Es konnte also nicht überraschen, dass nur etwas über ein Drittel der Teilnehmerinnen und Teilnehmer im Studierendentalter war. Viele nutzten den Kurs als Fortbildung, wie Giurca beobachtete. Um auch denjenigen die Teilnahme zu ermöglichen, die sich nicht freinehmen konnten, verlängerten die Organisationen den Kurs um eine Woche. Alles andere hätte für die Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter der Universität Freiburg auch keinen Sinn ergeben, insofern sie den Anspruch hatten, ein Thema, das sich mit Nachhaltigkeit befasst, auch nachhaltig zu vermitteln. Viele Entscheiderinnen und Entscheider waren dabei, etwa aus dem amerikanischen Landwirtschaftsministerium oder aus Brüssel, aber auch Laien, die wissen wollten, was es mit den



Vorträge, Experteninterviews, interaktive Module sowie Übungen und ein Quiz: Die Lehrinhalte wurden auf Ilias, der zentralen Lernplattform der Universität Freiburg, bereitgestellt. Foto: Sandra Meyndt

viel gerühmten Innovationen der Bioökonomie auf sich hat. „Es geht um unsere gemeinsame Zukunft, wenn es einen gesellschaftlichen Wandel geben soll, dann soll er sich auf der Grundlage einer informierten Debatte vollziehen“, erklärt Giurca. „Wir haben mit dem MOOC den neuesten Stand der Erkenntnis vermittelt und gesagt, die Leute sollen es diskutieren und sich eine eigene Meinung bilden.“

Auswahl an verschiedenen Denkschulen

Die meisten Videobeiträge des MOOC entstanden im Rahmen von PerForm. Das Institut, an dem Giurca arbeitet, verfügt über ein kleines Studio, ausgestattet mit Camcorder, Mikros, Greenbox und Scheinwerfern. Die Lehrinhalte wurden auf Ilias, der zentralen Lernplattform der Universität Freiburg, bereitgestellt. Dort fanden die Kursteilnehmer die Vorträge, die Experteninterviews, interaktive Module sowie Übungen und ein Quiz. Dass es nicht reicht, Expertinnen und Experten vor der Kamera zu befragen, war Giurca von Beginn an klar. Die Auswahl und der Verlauf folgten daher einer Dramaturgie, die Redundanzen vermeiden und möglichst viele Denkschulen zu Wort kommen lassen sollte.

E-Learning wird die klassische Vorlesung nicht ersetzen, doch es wird Auswirkungen auf die Lehre haben, prophezeit Giurca. Er selbst hat zwei Video-Lectures gehalten, aber vor allem moderiert. Erklärtes Ziel war es, alle 70 teilnehmenden Personen anzusprechen und ihre Fragen zu beantworten. Die engmaschige Betreuung wurde wertgeschätzt, wie sich bei der anschließenden Evaluation zeigte: „Ich fühlte mich vom Team willkommen geheißen und hatte das Gefühl, alle zu kennen, obwohl ich, glaube ich, niemanden aus dem Lehrteam jemals persönlich getroffen habe“, schreibt einer der Teilnehmer. „Das war der entscheidende Unterschied zu vorherigen E-Learning-Kursen, an denen ich bisher teilgenommen hatte. So wenig habe ich bislang noch nie die persönliche Interaktion vermisst.“

Es entstand ein Netzwerk von Teilnehmern, in dem man sich gegenseitig unterstützte, Fragen stellte und zusammen lernte, wie Giurca beobachtete. Eine unmittelbare Konsequenz für die Präsenzlehre könne sein, den Studierenden künftig mehr Eigenverantwortung zuzugestehen. Denn wenn beim E-Learning halbstündige Vorträge auf die Essenz von wenigen Minuten gekürzt werden können, wenn ein Impulsvortrag von zehn Minuten die Basis für einen Chat und eine anschließende Diskussion sein

kann, dann könnten offene Debatten auf der Basis einer gemeinsamen Wissensgrundlage entstehen. Lernen könnte demokratischer werden, schlussfolgert Giurca nach dem MOOC.

„Es geht um unsere gemeinsame Zukunft“

Die Auseinandersetzung mit dem E-Learning hat jedenfalls gerade erst angefangen. Unmittelbar nach dem ersten MOOC hat Giurca begonnen, zwei Pilotseminare vorzubereiten, die sich im Rahmen des Konsortiums EPICUR mit den Themen „Integrated Landuse Systems“ und „International Forest Government“ befassen. Es soll im Sinne des Blended Learning eine Verbindung beider Lehrwelten sein: Die Grundlagen werden in Online-Kursen vermittelt, während sich die Teilnehmenden vor Ort zu Exkursionen und persönlichen Gesprächen treffen. So hätten nicht nur alle, wenn sie in Freiburg eintreffen, eine gemeinsame Wissensbasis, sondern könnten auch ihr Wissen nachhaltig teilen.



Dr. Alex Giurca

hat in Braşov/Rumänien Forstingenieurwesen studiert und in Schweden und Finnland einen Masterabschluss in Forst- und Agrarwissenschaft gemacht. Nach Studienaufenthalten in Rumänien, Brasilien, Finnland, Schweden und Deutschland arbeitet er seit 2015 an der Universität Freiburg. Neben Bioökonomie zählen Wissenschaftskommunikation, digitales Lernen, Netzwerke und der Handel mit Holz zu seinen Forschungsschwerpunkten. Zusammen mit Dr. Markus Herbener wurde er im Hochschulwettbewerb des Wissenschaftsjahres 2020, das im Zeichen der Bioökonomie stand, für den Comic „Die Abenteuer von Alex und Bioman“ ausgezeichnet.

Foto: Jürgen Gocke

Zum Weiterlesen

Giurca A., Kleinschmit D. (2020): Übergang zu einer forstbasierten Bioökonomie? Ein Vergleich von Deutschland und Finnland. In: Konrad W., Scheer D., Weidtmann A. (Hrsg.): Bioökonomie nachhaltig gestalten. Technikzukünfte, Wissenschaft und Gesellschaft / Futures of Technology, Science and Society. DOI: 10.1007/978-3-658-29433-5_7

Giurca A. (2020) Unpacking the network discourse: Actors and storylines in Germany's wood-based bioeconomy. In: Forest Policy and Economics. DOI: 10.1016/j.forpol.2018.05.009

Giurca, A., Herbener, M. (2020): Die Abenteuer von Alex und Bioman. <http://www.alex-bioman.de>

Nachhaltiges Gärtnern



Studierende arbeiten sich in die Grundlagen der Landwirtschaft ein

von Mathias Heybrock

Theorie und Praxis: Im Seminar erlernten die Studierenden die Grundlagen des Gartenbaus und konnten diese in einem Garten selbst umsetzen. Foto: Sabine Sané



Der Begriff „Nachhaltigkeit“ kommt ursprünglich aus der Forstwissenschaft und wird heute für alles Mögliche verwendet. Die Frage ist, was genau er eigentlich bedeutet. „Ehrlich gesagt, haben wir am Anfang auch überlegt, was ‚nachhaltig‘ in Bezug auf das Gärtnern bedeuten könnte“, erklärt Dr. Sabine Sané. „Es war Ziel unseres Seminars, genau das herauszufinden.“ Am University College der Universität Freiburg ist die Umweltwissenschaftlerin für den Bereich Umwelt- und Nachhaltigkeitswissenschaft verantwortlich.

Die Keimzelle

Sané selbst ist Gartenbesitzerin: Sie konnte vor einiger Zeit eine 60 Quadratmeter große Parzelle in einer Kleingartensiedlung übernehmen. Spontan entschied sie sich, diesen Garten buchstäblich zur Keimzelle eines neuen Seminars zu machen. „In der Forstwissenschaft bedeutet Nachhaltigkeit, dass man dem Wald nicht mehr Holz entnimmt, als im gleichen Zeitraum nachwächst“, erklärt Sané. „Etwas allgemeiner gefasst, könnte man den Begriff also mit ‚ressourcenschonend‘ übersetzen.“

Die Annahme, Nachhaltigkeit sei im Bereich der Landwirtschaft ein Synonym für biologischen Anbau, ist weit verbreitet. Sané sieht das skeptisch: „Wenn man sich die Transportwege einiger Biolebensmittel anschaut, den zuweilen monokulturellen Anbau oder auch die Sorten, die zum Einsatz kommen, kann man an dieser Definition durchaus zweifeln.“ Im Rahmen des geplanten Seminars sollten Nahrungspflanzen biologisch angebaut werden – also wurde zunächst ökologisches, samenfestes Saatgut gekauft, das den Gewinn neuer Samen für den Anbau im Folgejahr ermöglicht. „Es gibt auf dem Markt auch hybride Sorten, die zwar ertragreich sind, aber jedes Jahr die Anschaffung neuer Samen erforderlich machen“, so die Biologin. „Das ist dann natürlich nicht nachhaltig.“



Der Kurs, sagen die Studierenden, habe bei ihnen den Blick für die Umwelt geschult.

Foto: Chiara Holtschneider

„Wir wollten zudem auf den Einsatz chemischer Pflanzenschutzmittel verzichten“, erläutert sie das Konzept. Denn diese können den Boden, aber auch die Pflanzen und damit spätere Lebensmittel selbst belasten. Außerdem setzten sie und die Studierenden auf Vielfalt – auch bei der Sortenwahl: „Bei Tomaten gibt es eine große Diversität, genauso bei Kartoffeln oder Karotten, die es etwa auch in violetter Farbe gibt.“ Alte, samenfeste Sorten haben oft einen sehr guten Geschmack, sind aber nicht so ertragreich, weswegen sie es in der Landwirtschaft schwer haben: Sie muss kostengünstig produzieren – und achtet deswegen darauf, dass möglichst viel angebaut wird, um über die Menge rentabel wirtschaften zu können.

Theorie und Praxis

Sané legte ihr Seminar halb theoretisch, halb praktisch an: Einerseits ging es ihr darum, den Studierenden die Grundlagen des Gartenbaus zu vermitteln: Pflanzen- und Bodenkunde sowie Bewässerungstechniken. Andererseits wurde bei gemeinsamen Ausflügen in ihren Garten selbst gegärtnert. So war jedenfalls der Plan vor Corona – der dann aber nur leicht abgewandelt werden musste: Videokonferenzen ersetzten die Seminarveranstaltungen, die Ausflüge in den Garten fanden nur in Zweiergruppen statt – immer dieselben beiden Personen als Team.

Auch in dieser Form kam das Seminar bei den Studierenden sehr gut an. „Das Beste war, dass Theorie und Praxis in einem vermittelt wurden“, sagt Lorenz Sachenbacher: „Es kommt im Unikontext selten vor, dass Wissen außerhalb des akademischen Elfenbeinturms vermittelt wird. Ich fand es unglaublich wertvoll, Gelerntes sofort mit den eigenen Händen umsetzen zu können.“ „Durch praktische Erfahrun-

gen im Garten bekamen wir einen ganz anderen Bezug zu Lebensmitteln, die wir täglich konsumieren“, ergänzt seine Kommilitonin Jana Kalmbach.

Angst und Schnecken

„Der Kurs hat meinen Blick für die natürliche Umwelt geschult“, bilanziert Chiara Holtschneider, „wie Pflanzen und Tiere miteinander agieren, wann es ihnen gut geht und wann nicht und wie alles von den Jahreszeiten und dem Wetter abhängt.“ Probleme machte zunächst der ausbleibende Regen: Über lange Zeit war es sehr trocken. „Wir hatten eigentlich vor, den Garten mit Regenwasser zu bewässern“, so Sané. Die dazu aufgestellten Tonnen waren aber schnell leer. „Da stellt sich dann die Frage: Was tun? Das Wasser von zu Hause anschleppen ist mühsam. Und ja auch nicht nachhaltig, wenn die Versorgung nur auf diese Weise klappt.“ Sané brachte über einen weiteren Videoimpuls die alte, heute ein bisschen in Vergessenheit geratene Kulturtechnik des Mulchens ins Spiel. Als Mulch bezeichnet man gemähtes Gras oder anderes organisches Material, das zwischen den Pflanzen ausgebracht wird. Der Mulch wird über Nacht durch den Tau feucht und gibt die gespeicherte Feuchtigkeit tagsüber nach und nach an den Boden ab.

„Das Beste war, dass Theorie und Praxis in einem vermittelt wurden“

Dann plötzlich war das Wasser nicht mehr knapp, sondern floss in Strömen. Ausgedehnte Regenfälle brachten ein neues Problem: viele Schnecken. „Und die fressen ein Gemüsebeet schon einmal ruckzuck leer.“ Schon zu Beginn des Seminars wurde erörtert, wie man sich beim

Gemüseanbau vor Schädlingen schützen kann. „Die Arten einer Pflanzenfamilie sind meistens für ähnliche Schädlinge anfällig“, erklärt Sané. Wie reagiert man darauf? Verteilt man die Pflanzen im Garten, damit nicht alle gleichzeitig befallen werden? Oder versammelt man sie besser an einem Ort und versucht sie dort zu schützen?

Das Seminar entschied sich für Letzteres – und versuchte, die Schnecken mit Eierschalen und Kaffeesatz von den Gemüsepflanzen fernzuhalten. „Aber wenn wir ehrlich sind“, so Sané, „hat das alles wenig genützt.“ Die Studierenden begannen schließlich, die Schnecken von Hand einzusammeln. Wenn es nötig wurde, auch bei starkem Regen mitten in der Nacht. Schutzzäune sorgten zusätzlich für Abhilfe.

Respekt, Respekt

„Durch solche Erfahrungen stieg bei uns auch der Respekt vor Kleinbäuerinnen und -bauern, die konventionell arbeiten“, also nicht auf chemischen Pflanzenschutz verzichten wollen, sagt Sané. „Sie müssen schließlich von der Ernte leben, können sich Ernteauffälle kaum leisten. Unter ressourcenschonend verstehen sie zudem auch den möglichst sparsamen Einsatz der eigenen Zeit.“ Landwirtschaft bedeutet ohnehin jede Menge Arbeit – auch wenn nicht mitten in der Nacht Schnecken vom Feld gesammelt werden müssen.

Da zeige sich einmal mehr, sagt Sané, „dass nachhaltig nicht automatisch ökologisch bedeutet.“ Gleichwohl findet sie es wichtig, zu schauen, wie beides sich vereinbaren lässt. Darüber solle man auch mit konventionell arbeitenden Landwirtinnen

und Landwirten im Gespräch bleiben, sagt sie. Sie verstehe allerdings auch, dass Bauern, die keinen Bioanbau betreiben, sich von Städtern oft zu Unrecht angegriffen und belehrt fühlen. „Diese Landwirte lassen sich vielleicht eher auf den Dialog ein, wenn sie sehen, dass ihr Gegenüber die Probleme, die mit dem Landbau verbunden sind, auch wirklich einschätzen kann.“

Schließlich widmete sich das Seminar auch der so genannten Ernährungssouveränität. „Ein großes Thema unserer Tage, auch in Freiburg“, so Sané. „Es geht dabei darum, inwieweit sich eine Stadt aus der umliegenden Region heraus ernähren könnte, also ohne lange Transportwege für Lebensmittel aus Südspeanien oder gar Übersee in Kauf zu nehmen.“ Das Gartenseminar wird einige Daten zur Beantwortung dieser Frage beitragen können, die Auswertung läuft noch: Wie hoch war der Ertrag bei dem Versuch, so nachhaltig wie möglich zu wirtschaften? Wie viele Personen könnte man von 60 Quadratmeter Fläche ernähren? Allerdings sei es keineswegs das Ziel gewesen, einen möglichst hohen Ertrag zu erwirtschaften, ergänzt die Dozentin.

Dass ihr Seminar nächstes Jahr eine Fortsetzung finden wird, weiß sie schon jetzt. Vielleicht können einige der Studierenden aus diesem Jahr als Tutorinnen und Tutoren dabei sein, um den neuen Teilnehmerinnen und Teilnehmern mit ihren Erfahrungen zur Seite zu stehen oder im Garten eigene kleinere Forschungsarbeiten zu verschiedenen Anbaumethoden durchzuführen. Denn auch nicht immer wieder bei null anfangen zu müssen ist im Sinne der Nachhaltigkeit.



Dr. Sabine Sané

studierte an der Universität Freiburg Biologie; ihre Schwerpunkte waren Ökologie, Evolutionsbiologie, Botanik und Verhaltensforschung bei Tieren. Ihre Masterarbeit schrieb sie über das Gruppenverhalten der Bärenpaviane im südlichen Afrika. Die Arbeit entstand in Kooperation mit dem Deutschen Primatenzentrum in Göttingen, wo Sané anschließend in der Verhaltensforschung arbeitete. Nach ihrer Rückkehr nach Freiburg war sie am Max-Planck-Institut für Immunbiologie und Epigenetik tätig. Ihre Doktorarbeit verfasste sie am Institut für Mikrosystemtechnik der Technischen Fakultät. Seit 2014 ist sie am University College der Albert-Ludwigs-Universität tätig, wo sie als Dozentin und Lehrplanentwicklerin den Bereich Umwelt- und Nachhaltigkeitswissenschaft verantwortet.

Foto: Manfred Zahn

Zum Weiterlesen

Sarkar, S. C., Wang, E., Wu, S., Lei, Z. (2018): Application of trap cropping as companion plants for the management of agricultural pests: a review. In: *Insects*, 9/4, S. 128. DOI: 10.3390/insects9040128

Reddy, P. P. (2017): *Agro-ecological approaches to pest management for sustainable agriculture*. Singapur.

Monty, W. (2016): *Biodynamisch gärtnern*. London.



Die Dekolonisation des Wissens

Das Thema Flucht und Migration aus verschiedenen Blickwinkeln

von Patrick Siegert

Begriffe wie „Flüchtling“ oder „Migrant“ sind übergeneralisierende Etiketten. Die betroffenen Menschen seien schließlich unterschiedliche Individuen aus unterschiedlichen Gemeinschaften – das war ein wichtiger Aspekt einer Lehrveranstaltung am Seminar für Wissenschaftliche Politik.

Illustration: Jürgen Oschwald

Ob in der Öffentlichkeit oder in der Wissenschaft: Beim Thema Flucht und Migration wird in Deutschland und Europa viel über die davon betroffenen Menschen gesprochen. Zu wenig hingegen werde anerkannt, wie viel Wissen zu diesem Thema diese Menschen selbst besitzen, sagt Cita Wetterich vom Seminar für Wissenschaftliche Politik der Universität Freiburg. Zusammen mit anderen Forschenden hat sie am Arnold-Bergstraesser-Institut eine Lösung für das Problem gefunden: „Mithilfe partizipativer Ansätze binden wir geflüchtete Personen in den wissenschaftlichen Prozess ein und machen ihre Perspektiven sichtbar. Auf diese Weise wollen wir mit den Menschen forschen, anstatt nur über sie zu forschen.“ Wissenschaftlerinnen wie Gayatri Chakravorty Spivak, bell hooks und Chandra Talpade Mohanty hinterfragen im Globalen Norden vorherrschende Diskurse mit theoretischen Ansätzen wie kritischer, feministischer oder postkolonialer

Forschung. Auch Studierende könnten dadurch lernen, sich nicht nur quantitativ mit Flucht und Migration auseinanderzusetzen, sondern deren Strukturen und Mechanismen sowie Identitäten betroffener Menschen auch qualitativ zu untersuchen.

Für das Sommersemester 2020 plante Wetterich das englischsprachige Seminar „Mobility in the Mediterranean and Northern Africa“. Der gemeinnützige Freiburger Verein „Zeugen der Flucht“ wollte selbst als Gast an Sitzungen teilnehmen und der Forscherin Kontakte zu Menschen mit Fluchthintergrund vermitteln, die sich dann mit den Studierenden über ihre Erfahrungen ausgetauscht hätten. Betroffene können schließlich aufgrund ihrer eigenen Erlebnisse viele Aspekte zu diesem Thema beitragen. Aufgrund der Coronapandemie ließ sich der Plan jedoch nicht umsetzen: „Bei Erzählungen über Flucht und Migration ist der persönliche Kontakt



In digitalen Treffen diskutierten die Arbeitsgruppen über ihre Projekte. Foto: Klaus Polkowski

besonders wichtig“, erklärt Wetterich. „Wegen der allgemeinen Umstände entschieden wir uns dafür, diese Menschen mit ihrer Expertise in einem anderen Semester einzuladen.“ Die Veranstaltung fand dennoch statt, nämlich als digitales Seminar über eine Konferenz-App.

Erzählungen von Flucht und Migration

Zu Beginn diskutierte Wetterich mit den Studierenden über Begriffe wie „Flucht“ und „Migration“ sowie zentrale, damit zusammenhängende Fragen: Wie sinnvoll oder wie gefährlich sind solche Begriffe? Wie viele Menschen flüchten über das Mittelmeer? Wie ergeben sich Diskrepanzen zwischen Informationsquellen? Im weiteren Verlauf führte die Politikwissenschaftlerin die Teilnehmenden in die kritische Forschung ein, an die sie später mit selbst gewählten Projekten anknüpfen konnten. Mit einzelnen Arbeitsgruppen besprach sie wöchentlich deren aktuellen Projektstand sowie methodische und theoretische Hintergründe. Später präsentierten die Gruppen ihre Zwischenergebnisse den anderen Teilnehmenden, so dass alle einander konstruktives und kritisches Feedback geben konnten. Am Ende verfassten die Studierenden ihre wissenschaftlichen Arbeiten, die sie im Herbst 2020 – zusammengefasst in einer studentischen Fachzeitschrift – veröffentlichen. Mit seinen Peer-Review- und Korrekturphasen orientiert sich das Konzept an dem üblichen Verfahren für wissenschaftliche Paper.

Eine besondere Rolle bei der Veranstaltung spielte der syrische Migrationsforscher Dilshad Muhammad, der am Arnold-Bergstraesser-Institut der Universität Freiburg mit Wetterich zusammenarbeitet. In einer Sitzung sprach er mit den Studierenden über seinen akademischen Werdegang, den er, da er selbst einst zur Flucht gezwungen war, mehrmals unterbrechen musste. „Die Welt stützt sich noch immer auf Nationalstaaten, Nationalitäten und auf die Existenz von Reisedokumenten. Auf Reisen müssen Forschende mit eigener Fluchterfahrung Hürden wie faktische Staatenlosigkeit und fehlende rechtliche sowie bürokratische Unterstützung überwinden“, erklärt der Wissenschaftler. „Gute Wissenschaft braucht die Insiderperspektive“, betont Muhammad, aber zu viel Einseitigkeit wiederum schade dem Forschungsprozess.

Im Vordergrund standen bei dem Seminar die Kategorien der Diskriminierung wie ethnische oder religiöse Zugehörigkeit oder sexuelle Orientierung. Besonders wichtig sei die Frage, mit welchen Bildern diese reproduziert würden, sagt Wetterich: Beispielsweise hätten junge Männer aus Subsahara-Afrika mit dem Stereotyp des alleinstehenden, gewaltbereiten, schwer integrierbaren und hypersexualisierten Mannes zu kämpfen. Begriffe wie „Flüchtling“ oder „Migrant“ seien laut ihrem Kollegen Muhammad externe und übergeneralisierende Etiketten. Betroffene Menschen seien unterschiedliche Individuen aus unterschiedlichen Gemeinschaften. Und sie sehen sich selbst auf ganz individuelle Weise, bevor sie sich beispielsweise als Geflüchtete identifizieren. Muhammad stellt dazu fest: „Migration ist weder eine Krise noch ein besonderer Zustand. Sie ist ein wesentlicher Aspekt unserer Geschichte als Menschen.“

„Migration ist weder eine Krise noch ein besonderer Zustand“

Eine der Projektgruppen untersuchte, wie geflüchtete Frauen aus Afrika in der Öffentlichkeit in Freiburg wahrgenommen werden. Die Studierenden beobachteten, welchen Aktivitäten die Frauen nachgingen und welche sozialen und beruflichen Angebote für sie existieren. Auch bei diesem Thema gebe es in öffentlichen Diskursen eine häufige Annahme, berichtet Wetterich: „Angeblich nehmen geflüchtete Frauen oder Migrantinnen aus Afrika sowie dem Nahen Osten aufgrund traditioneller Familienstrukturen nicht an der Gesellschaft teil und sind daher schlechter integriert als Männer.“ Diese Annahme wird durch die studentische Forschung, wie auch andere Ergebnisse aus der Flucht- und Migrationsforschung kritisch hinterfragt. „Oft sind nicht traditionelle Familienstrukturen, sondern fehlende oder nicht zielgerichtete Angebote, wie auch eine fehlende Repräsentation eher als Problem anzusehen“, erläutert Wetterich. Im Bereich der Medienforschung untersuchte eine weitere Gruppe, wie unterschiedlich Frontex, die Europäische Agentur für die Grenz- und Küstenwache, und Sea-Watch, ein gemeinnütziger Verein für die Seerettung von Geflüchteten, die Social-Media-Plattform Twitter nutzen. Die Gruppe ging vor allem

darauf ein, wie beide Initiativen Themen diskursiv aufgreifen und welche theoretischen Konzepte den geposteten Inhalten zugrunde liegen.

Aktive Teilhabe und kritische Diskussion

Die Forschungsarbeiten der Studierenden will Wetterich der Öffentlichkeit zugänglich machen. Das Konzept soll zudem als Anreiz für weitere wissenschaftliche Arbeiten dienen. „Meist sehen nur Lehrende, was Studierende erarbeiten. In dem Seminar sammeln die Teilnehmenden schon lange vor ihrer Abschlussarbeit wissenschaftliche Erfahrungen. Neben Schreibstil, guter Struktur und der Verbindung von Theorie und Praxis lernen sie, aktiv am Forschungsprozess teilzuhaben und Inhalte kritisch zu diskutieren“, erklärt die Wissenschaftlerin. Für die Publikation schreibt sie selbst eine Einleitung, Muhammad verfasst einen Kommentar aus seiner Sicht als Insider.

Die ursprünglich geplante Präsenzveranstaltung will Wetterich auf jeden Fall nachholen, denn „Menschen mit Fluchthintergrund benötigen eine Plattform, um ihre Perspektiven schildern zu können.“ Statt einer studentischen Fachzeitschrift soll beim nächsten Mal ein Wissenschaftsblog entstehen: Die Teilnehmenden können ihre Ergebnisse auf diese Weise einer noch breiteren Öffentlichkeit zugänglich machen. Muhammad zeigt sich von der Herangehensweise überzeugt: „Für die Lernerfahrungen von Studierenden ist ein solches Konzept wichtig. Außerdem trägt es zu einem umfassenden Bestreben bei, das Wissen zu dekolonisieren und gleichberechtigt zu verteilen.“

www.pr.uni-freiburg.de/go/early-career-voices



Cita Wetterich

hat Politik- und Verwaltungswissenschaft an der Universität Konstanz und Internationale Sicherheit an der Universität Warwick/England studiert. Seit 2017 promoviert sie in Politikwissenschaften an der Universität Freiburg sowie in Geschlechterforschung an der Universität Basel/Schweiz über das Thema „Erfahrungen von Gewalt und Unsicherheit von männlichen Geflüchteten auf der Flucht“. Sie arbeitet seit 2018 am Seminar für Wissenschaftliche Politik der Universität Freiburg und am Arnold-Bergstraesser-Institut. Zu ihren Forschungsschwerpunkten zählen Flucht- und Migrationsforschung, Seenotrettung, feministische Forschung, Sicherheitsstudien, postkoloniale Theorien und als regionaler Schwerpunkt der Zentrale Mittelmeerraum und Ostafrika. Für ihre Forschung hielt sie sich 2019 in Italien und auf dem Mittelmeer auf.



Dilshad Muhammad

hat Politikwissenschaften und Internationale Beziehungen an der Istanbul Aydin-Universität in Istanbul/Türkei studiert. Seit 2019 promoviert er in Politikwissenschaften am Arnold-Bergstraesser-Institut der Universität Freiburg zu dem Thema „Die Entstehung und das Ausbleiben kommunaler Reaktionen auf die Präsenz syrischer Flüchtlinge in der Türkei“. Zu seinen Forschungsschwerpunkten gehören (Zwangs-)Migration, ethnischer Transnationalismus und Staatsformung, vor allem im Zusammenhang mit der Türkei und mit Syrien.

Fotos: Klaus Polkowski

Zum Weiterlesen

Wetterich, C., Gurol, J. (2020): Feldforschung in sensiblen Sicherheitskontexten. Einblicke aus China und dem südlichen Mittelmeerraum. In: Zeitschrift für Internationale Beziehungen (zib), 2, S. 1 – 15. DOI: 10.5771/0946-7165-2020-2-1

Aden, S., Schmitt, C., Uçan, Y., Wagner, C., Wienforth, J. (2019): Partizipative Fluchtmigrationsforschung. Eine Suchbewegung. In: Z'Flucht. Zeitschrift für Flucht- und Flüchtlingsforschung, 3/2, S.302–319.

Grosfoguel, R., Oso, L., Christou, A. (2015): 'Racism', intersectionality and migration studies: framing some theoretical reflections. In: Identities – Global Studies in Culture and Power, 22/6, S. 635–652. DOI: 10.1080/1070289X.2014.950974

Impressum

uni'wissen, das Forschungsmagazin
der Universität Freiburg, erscheint zweimal jährlich.

Herausgeber

Albert-Ludwigs-Universität Freiburg,
die Rektorin Prof. Dr. Kerstin Kriegelstein

Verantwortlich für den Inhalt

Nicolas Scherger
Leiter Öffentlichkeitsarbeit und Beziehungsmanagement
(kommissarisch)

Wissenschaftlicher Beirat

Prof. Dr. Jürgen Bausch, Forstwissenschaften
Prof. Dr. Ralf von den Hoff, Archäologie
Prof. Dr. Gunther Neuhaus, Biologie
Prof. Dr. Sabine Rospert, Medizin
Prof. Dr. Margit Zacharias, Mikrosystemtechnik

Redaktion

Annette Kollefrath-Persch (verantwortliche Redakteurin)
Patrick Siegert

Anschrift der Redaktion

Presse- und Öffentlichkeitsarbeit
Albert-Ludwigs-Universität
Fahnenbergplatz, 79085 Freiburg
Telefon 0761/203-8909
Fax 0761/203-4278
E-Mail uniwissen@pr.uni-freiburg.de

Gestaltung, Layout

Jürgen Oschwald

Auflage

6.000 Exemplare

Foto Titelseite:

[mitrarudra/stock.adobe.com](https://www.adobe.com/stock/123456789/123456789.html)

Druck und Herstellung

Hofmann Druck, Emmendingen

uni'wissen ist klimaneutral auf 100 Prozent Altpapier gedruckt.
Das Papier ist mit dem Umweltzeichen „Blauer Engel“ zertifiziert.

Vertrieb

Stabsstelle Öffentlichkeitsarbeit und
Beziehungsmanagement

ISSN 2194-8054

© Albert-Ludwigs-Universität Freiburg. Alle Rechte vorbehalten.
Nachdruck, auch auszugsweise, nur mit Genehmigung
der Redaktion. Namentlich gekennzeichnete Artikel geben
nicht unbedingt die Meinung des Verlags oder der Redaktion
wieder. Die Redaktion behält sich vor, eingesandte Artikel zu
redigieren und zu kürzen.

uni'wissen erscheint online unter
www.wissen.uni-freiburg.de

Presse- und Öffentlichkeitsarbeit
Albert-Ludwigs-Universität
Fahnenbergplatz, 79098 Freiburg
Telefon 0761/203-8909
Fax 0761/203-4278
E-Mail uniwissen@pr.uni-freiburg.de
www.wissen.uni-freiburg.de