

Max Planck FORSCHUNG



Das Wissenschaftsmagazin der Max-Planck-Gesellschaft I.2019



Europa

WIRTSCHAFTSSOZIOLOGIE
Die Macht
der Erwartungen

TSUNAMIFORSCHUNG
Atome schlagen
Wellen

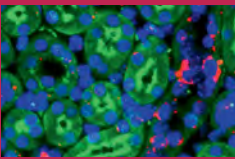
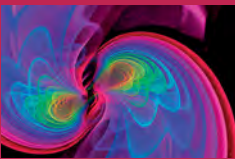
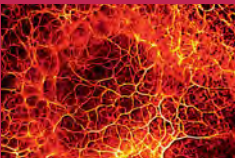
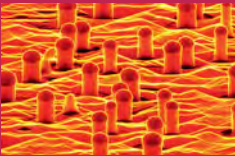
CHEMIE
Materialmix aus der
Küchenmaschine

MOBILITÄT
Bus auf
Bestellung





Connecting Science and Business.



Als Technologietransfer-Organisation der Max-Planck-Gesellschaft ist Max-Planck-Innovation das Bindeglied zwischen Industrie und Grundlagenforschung. Mit unserem interdisziplinären Team beraten und unterstützen wir die Wissenschaftler bei der Bewertung von Erfindungen, der Anmeldung von Patenten sowie der Gründung von Unternehmen. Der Industrie bieten wir einen zentralen Zugang zu den Innovationen der Max-Planck-Institute. Damit erfüllen wir eine wichtige Aufgabe: den Transfer von Ergebnissen der Grundlagenforschung in wirtschaftlich und gesellschaftlich nützliche Produkte.

Connecting Science and Business





Schätze des Wissens

Gelehrte, versunken in kontemplativer Stille, umgeben von Büchern – jahrhundertlang war dies der Inbegriff von Wissenschaft. Doch können Bibliotheken noch zentrale „Orte der Forschung“ sein, wenn im Zeitalter der Digitalisierung die meisten Quellen jederzeit online verfügbar sind? Von Forschenden weltweit wird diese Frage ganz klar mit Ja beantwortet. In vielen Wissenschaftsbereichen ist das gedruckte Buch nach wie vor das bevorzugte Publikationsmedium und die Bibliothek sozusagen das gut ausgestattete Labor, ohne das Forschung nicht möglich ist. Und so überrascht es nicht, dass Gastwissenschaftler ihre Aufenthalte an Max-Planck-Instituten nicht selten nach der Kapazität der Bibliotheksnutzung planen müssen.

Die Qualität einer Bibliothek beruht jedoch nicht allein auf den Beständen, so wertvoll diese auch sein mögen. Entscheidend ist die Verfügbarkeit des Wissens. Die Verantwortung dafür tragen die Bibliothekare: Sie durchforsten alle zur Verfügung stehenden Quellen nach neuen, relevanten Veröffentlichungen, bereiten die Daten zeitgemäß auf und unterstützen die Wissenschaftler zudem auch im Publikationsprozess. Und selbstverständlich gilt dies nicht nur für das gedruckte Wort, sondern auch für andere Medien wie Bild-, Hör- und Videomaterial.

Die seit 120 Jahren bestehende Bibliothek des Kunsthistorischen Instituts in Florenz, in die der Blick hier fällt, ist eine der renommiertesten kunstwissenschaftlichen Bibliotheken weltweit. Sie bietet Zugang zu rund 300 000 Monografien, 50 000 Bänden periodischer Schriften sowie mehr als 1000 Fachzeitschriften. Jährlich kommen etwa 7000 Neuerwerbungen hinzu. Und natürlich gehören auch zu dieser Bibliothek Laptops, Computerterminals und elektronische Medien – auch wenn sie hier gerade nicht im Bild sind. Zur Verfügung stehen neben den Printmedien 2500 lizenzierte E-Journals sowie rund 100 000 E-Books aus der Kunstwissenschaft und den Nachbardisziplinen.



Inhalt



18 EUROPA

18 Sturmerprobte Gemeinschaft

Der Blick in die Geschichte Europas zeigt: Mit Krisen haben die Europäer Erfahrung. Aber es gelang immer wieder, Lösungsstrategien zu finden. Forscher am Max-Planck-Institut für europäische Rechtsgeschichte gewinnen aus der Vergangenheit auch Erkenntnisse über die heutige Situation.

24 Ringen um das gemeinsame Recht

In der Europäischen Union gehen seit einiger Zeit die Vorstellungen von Rechtsstaatlichkeit auseinander. Besonders Polen und Ungarn definieren ihre eigenen Regeln. Am Max-Planck-Institut für ausländisches öffentliches Recht und Völkerrecht analysieren Forscher die Ursachen der Krise und die Reaktionsmöglichkeiten der EU.

30 Die Union der Verschiedenen

An der Frage, ob und wie Europa enger zusammenwachsen soll, scheiden sich die Geister. Angesichts der großen Unterschiede zwischen den Ländern hinterfragen die Wissenschaftler am Max-Planck-Institut für Gesellschaftsforschung eine engere Integration der Mitglieder.

ZUM TITEL Nicht nur die Fassade bröckelt: Die Europäische Union steckt derzeit in mehreren Krisen gleichzeitig. Der Brexit – vom britischen Künstler Banksy auf einer Hauswand in Dover bildlich dargestellt – ist nur eine davon und nach Ansicht vieler Wissenschaftler noch nicht einmal die schwerste. Mit größerer Sorge sehen Forscher die auseinanderdriftenden Auffassungen von Rechtsstaatlichkeit und die großen strukturellen Ungleichheiten zwischen den Mitgliedern. Aber der Blick in die Geschichte der Staatengemeinschaft zeigt auch, dass Europa früher schon so manche schwere Krise gemeistert hat.

Liebe Leserin, lieber Leser, keine Angst, Sie haben nichts verpasst! Aus Gründen der Harmonisierung mit der englischsprachigen Version dieses Magazins ist die MAXPLANCKFORSCHUNG 4/2018 entfallen. Wir starten daher mit diesem Heft (1/2019) ins neue Jahr und werden Ihnen wie gewohnt vier Ausgaben liefern.

10 Vorgespiegelt: Hinter wirtschaftlichen Prognosen stehen oft erfundene Geschichten.

PERSPEKTIVEN

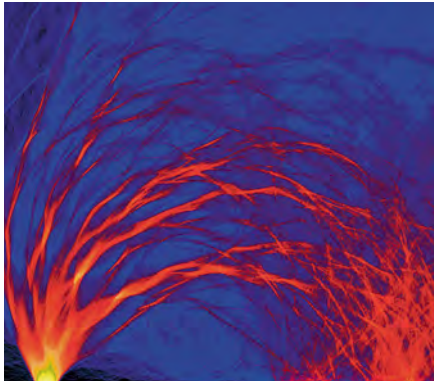
- 06 Ausgezeichnet!
- 06 Pionierleistung in der Proteinforschung geehrt
- 07 „Einer alternativen Zukunft ausgeliefert“
- 08 Dem Ozean auf den Grund gehen
- 08 Masernviren gegen Krebs
- 09 Etappensieg für Open Access
- 09 Ins Netz gegangen

ZUR SACHE

- 10 **Die Macht der Erwartungen**
Die Welt der Wirtschaft ist nur scheinbar rational. Will eine Firma im Wettbewerb um Investitionen und Kunden erfolgreich sein, spielt Fiktion eine wichtige Rolle, meint unser Autor.

FOKUS

- 18 Sturmerprobte Gemeinschaft
- 24 Ringen um das gemeinsame Recht
- 30 Die Union der Verschiedenen



44 Vorgewarnt: Simulationen von Elektronenwellen sollen die Prognose von Tsunamis verbessern.



60 Vorgekocht: Aus ungewöhnlichen Zutaten lassen sich neue Materialien kneten und backen.



68 Vorbestellt: Per App kann man sich im Harz den Regionalbus auch an die Landstraße rufen.

SPEKTRUM

- 38** Fliegende optische Katzen
- 38** Im Strudel eines schwarzen Lochs
- 38** Wer am häufigsten lügt
- 39** Untergewicht als Ideal
- 39** Geckos laufen übers Wasser
- 40** Griff in die psychologische Trickkiste
- 40** Eine kalte Supererde in unserer Nachbarschaft
- 41** Die Werkzeugmacher unter den Vögeln
- 41** Nanoroboter gehen ins Auge
- 41** Symbiose der Totengräber
- 42** Das Grab der Buchmalerin
- 42** Vier neue Quellen von Gravitationswellen
- 43** Ansprechende Kunst wirkt nach
- 43** Es ist ein Tier!
- 43** Neandertaler-Gene bringen das Gehirn in Form

PHYSIK & ASTRONOMIE

- 44 Atome schlagen Wellen**
Tsunamis und Monsterwellen gefährden Schiffe und Menschenleben. Aus Experimenten an winzigen Halbleiterstrukturen können Forscher etwas über die zerstörerischen Ereignisse lernen und so auch deren Vorhersage verbessern.

BIOLOGIE & MEDIZIN

- 52 Leben im Laufschrift**
Zur Person: Silvia Cappello

MATERIAL & TECHNIK

- 60 Materialmix aus der Küchenmaschine**
Forscher experimentieren mit Nudelmaschine, Pizzaofen oder Mixer, um aus nachwachsenden Rohstoffen neue Materialien zu gewinnen. Dabei haben sie bereits einen robusten Holzwerkstoff, Bioplastik und Biosprit hergestellt.

UMWELT & KLIMA

- 68 Bus auf Bestellung**
Wer auf dem Land den öffentlichen Nahverkehr nutzen will, hat meist nur wenige Möglichkeiten. Forscher haben nun ein System entwickelt, bei dem Kunden einen Bus direkt vor ihre Tür bestellen können. Eine Software optimiert die Routen für Kunden und Betreiber.

RUBRIKEN

- 03 Orte der Forschung**
- 16 Post aus – Santa Cruz, USA**
Mit der Familie an den Pazifik
- 76 Rückblende**
Die verrückten Hüte der Schirmalge
- 78 Neu erschienen**
78 Michael Schrödl, Unsere Natur stirbt
79 Peter Berthold, Konrad Wothe, Unsere einzigartige Vogelwelt
80 Lukas Brand, Künstliche Tugend
81 Jonathan B. Losos, Glücksfall Mensch
82 Stefan Frankenberger, ... Deine Lise
- 83 Standorte**
- 83 Impressum**

Ausgezeichnet!

Leibniz-Preise 2019 für drei Max-Planck-Wissenschaftlerinnen



Frauenpower aus der Max-Planck-Gesellschaft: die Leibniz-Preisträgerinnen Melina Schuh, Ayelet Shachar und Brenda Schulman (von links).

In diesem Jahr erhalten gleich drei Max-Planck-Wissenschaftlerinnen den wichtigsten deutschen Forschungsförderpreis: Melina Schuh, Ayelet Shachar und Brenda Schulman werden den mit bis zu 2,5 Millionen Euro dotierten Gottfried Wilhelm Leibniz-Preis am 13. März 2019 in Berlin entgegennehmen.

Melina Schuh wird für ihre grundlegenden Arbeiten zur Fortpflanzungsbiologie gewürdigt. Die Direktorin am Max-Planck-Institut für biophysikalische Chemie in Göttingen hat wichtige Erkenntnisse dazu beigetragen, wie eine reife, befruchtungsfähige Eizelle entsteht und welche Folgen es hat, wenn bei diesem empfindlichen Vorgang Fehler passieren. In der FRANKFURTER ALLGEMEINEN ZEITUNG (FAZ) erklärte die frisch gekürte Leibniz-Preisträgerin, wie ihre Forschung Frauen mit Kinderwunsch hilft. Und auch die Arbeiten von Ayelet Shachar, Direktorin am Max-Planck-Institut zur Erforschung multireligiöser und multiethnischer Gesellschaften in Göttingen, waren der FAZ unter dem Titel „Das Recht der Entwurzelten“ einen Beitrag wehrt. Ihre multidisziplinären Arbeiten zu Staatsbürgerschaft und rechtlichen Rahmenbedingungen in multikulturellen Gesellschaften haben Shachar zu einer der führenden Expertinnen auf diesem Gebiet werden lassen. Brenda Schulman, Direktorin am Max-Planck-Institut für Biochemie in Martinsried, wird für ihre biochemischen und strukturellen Arbeiten zu den molekularen Mechanismen des Ubiquitin-Systems ausgezeichnet. Denn eine Fehlregulation in diesem System führt zu zahlreichen Funktionsstörungen, wie etwa Krebs oder neurodegenerativen Erkrankungen.

Pionierleistung in der Proteinforschung geehrt

Franz-Ulrich Hartl erhält Paul Ehrlich- und Ludwig Darmstaedter-Preis 2019

Für ihre Pionierarbeit in der Erforschung der Proteinfaltung werden dieses Jahr zwei Wissenschaftler mit der besonderen Auszeichnung gewürdigt: Franz-Ulrich Hartl, Direktor am Max-Planck-Institut für Biochemie in München, teilt sich den Preis mit seinem US-amerikanischen Kollegen Arthur L. Horwich von der Yale School of Medicine und dem Howard Hughes Medical Institute. Die Forscher nehmen den mit 120 000 Euro dotierten Preis am 14. März 2019 in der Frankfurter Paulskirche entgegen. Hartl und Horwich haben gezeigt, dass die Proteine sämtlicher Organismen über einen komplizierten und energieaufwendigen Prozess gefaltet werden und dabei auf Faltungshelfer, sogenannte Chaperone, angewiesen sind. Die Arbeiten sind auch für die Medizin von erheblicher Relevanz. Denn falsch gefaltete



Meister der Proteinfaltung:
Franz-Ulrich Hartl, Direktor am Max-Planck-Institut für Biochemie.

und verklumpte Proteine sind ein wichtiges Merkmal vieler neurodegenerativer Erkrankungen, etwa Alzheimer oder Morbus Parkinson. Aus diesem Grund

könnte ein besseres Verständnis dieser Fehlfaltungen wichtige Ansatzpunkte für die Behandlungen dieser Erkrankungen liefern.

„Einer alternativlosen Zukunft ausgeliefert“

Lisa Suckert hinterfragt die Motive hinter der Brexit-Kampagne



Lisa Suckert

Seit die Briten 2016 für den Austritt ihres Landes aus der Europäischen Union gestimmt haben, ringt die Nation um ihre Zukunft. Lisa Suckert vom Max-Planck-Institut für Gesellschaftsforschung in Köln hat die Kampagne für den Brexit analysiert. Aus Sicht der Soziologin ist diese ein gutes Beispiel dafür, wie Zukunftsvorstellungen eine Gesellschaft prägen – ein Beispiel, aus dem die EU einiges lernen kann.

Frau Suckert, das Votum für den Brexit war ein Schock für Europa. Sind die Briten einem neuen Nationalismus verfallen?

Lisa Suckert: Man muss aufpassen, dass man diejenigen, die für den Austritt aus der EU gestimmt haben, nicht in eine Schublade steckt. Da ist schnell von „Nationalisten“, „stumpfen Rassisten“ und „Ewiggestrigen“ die Rede, denen jedes Verständnis für ökonomische Zusammenhänge fehlt und die sich vor allem Fremdartigen fürchten. Natürlich war die Zuwanderung eines der wichtigen Themen, und Teile der Leave-Kampagne waren klar fremdenfeindlich. Aber alles auf diesen radikalen Nenner zu bringen, ist viel zu einfach. Man muss genauer hinsehen.

Inwiefern?

Die Brexit-Befürworter decken ein breites Spektrum ab, das von ganz rechts bis ganz links reicht und die EU aus sehr verschiedenen Perspektiven kritisiert. Für die einen ist die Europäische Union das neoliberale Feindbild, das zu wirtschaftsfreundlich ist und allein die freien Märkte im Sinn hat. Für die anderen greift die EU gerade in die

Wirtschaft zu stark ein. Sie wollen aus der EU raus, um endlich wirklich freie Märkte zu haben. Ein Teil der Brexit-Befürworter will Migration begrenzen und zurück zu mehr nationaler Souveränität. Ein anderer Teil der Bewegung glaubt hingegen, die EU gehe schlecht und unmenschlich mit Flüchtlingen um. Sobald man raus sei, könne man das besser machen. Es sind also stark widersprüchliche Meinungen, die rational gar nicht in Einklang zu bringen sind.

Worum geht es den Brexit-Befürwortern eigentlich?

Die Gegenwart ist für viele und wahrscheinlich ja nicht nur für die Briten sehr komplex. Es herrscht der Eindruck, keine Entscheidungsmacht mehr über die eigene Lebenswelt zu haben, einer alternativlosen Zukunft ausgeliefert zu sein. Der Wunsch nach mehr Souveränität, nach einem Rückgewinn von Kontrolle, nach klaren Grenzen – all das ist in der Kampagne sehr dominant gewesen. Es geht dabei eher um Sehnsüchte nach einer Zeit und einer Welt, die als vermeintlich sicher und glücklich betrachtet werden. Für viele ist das die große Zeit des *British Empire* und später des Commonwealth. Man wärmt sich an dieser Vergangenheit.

Haben die Leute nicht bedacht, welche Folgen ihr Votum hat?

Tatsächlich haben 2016 viele Wählerinnen und Wähler abgestimmt, ohne die Konsequenzen eines Austritts im Detail zu überlegen. Rund 70 Prozent derjenigen, die für den Brexit gestimmt haben, waren der Ansicht, dass der Ausgang des Referendums keinen großen Unterschied machen werde, also dass sich so oder so nicht viel ändern werde. Das dürfte, sollte es tatsächlich zu einem harten Brexit kommen, eine wirtschaftspolitische Fehleinschätzung gewesen sein.

1975 haben die Briten schon einmal über einen Austritt abgestimmt, zwei Drittel stimmten für einen Verbleib. Was waren damals die Argumente?

Im Grunde ganz ähnliche wie heute. Großbritannien träumte davon, wieder Weltmacht zu sein. Für die EU-Befürworter

sollte die Weltmacht Großbritannien hingegen das Zukunftsprojekt Europa aktiv mitgestalten. Insgesamt war damals aber die Stimmung optimistischer. Beide Seiten fragten sich, wie man innerhalb oder außerhalb der EU eine bessere Zukunft gestalten könne. 2016 ging es sowohl bei der Leave- als auch bei der Remain-Kampagne darum, wie man Risiken und Gefahren verhindern kann.

Die Vorstellungen von Zukunft waren in den 1970er-Jahren also andere?

Inhaltlich nicht wirklich. Aber es herrschte eine andere Grundstimmung. Die Zukunft wurde als offen und beeinflussbar dargestellt. Für eine Gesellschaft ist es zentral, wie sich ihre Mitglieder die Zukunft vorstellen. Wenn der Eindruck vorherrscht, dass es für die Zukunft keine Gestaltungsspielräume mehr gibt, kommt vieles zum Erliegen.

Wie könnte heute eine „bessere“ Zukunft für die Briten aussehen?

Das ist schwer zu sagen, die Situation ist momentan verfahren. Das Land ist zutiefst gespalten. Langfristig muss es den Briten gelingen, ihre widersprüchlichen Bedürfnisse zusammenzubringen, nämlich die Teilhabe an der Globalisierung sowie eine gewisse Abschottung und Kontrolle über den eigenen Wirtschaftsraum.

Wie kann die EU darauf reagieren?

Sie könnte ein Beitrag zur Lösung sein, wenn sie sich ändert. Immer mehr Menschen sind unzufrieden mit der EU. Sie hat sich schon viel zu lange fast ausschließlich auf die Wirtschaft und den freien Markt konzentriert. Das hat bisher nicht sehr überzeugt. Zumindest nicht, was die europäische Integration angeht. Vielleicht sollte man die ökonomische Integration zurückfahren und viel stärker Sozialstandards und europäische Kultur in den Mittelpunkt stellen. Und es würde sich bestimmt auch lohnen, noch einmal ganz genau hinzuschauen, welche Bedürfnisse die Brexit-Befürworter zu ihrer Entscheidung bewegt haben, um daraus zu lernen.

Interview: Martin Roos

Dem Ozean auf den Grund gehen

Bremer Start-up gewinnt europäischen Gründerpreis

„95 Prozent des Meeresbodens sind unerforscht“, sagt Hannah Brocke. Gemeinsam mit Guy Rigot, Joost den Haan und Raja Kandukuri will die Biologin das ändern. Die vier Wissenschaftler haben PlanBlue gegründet – als Start-

up aus dem Max-Planck-Institut für marine Mikrobiologie in Bremen. Die Vision der vier: den gesamten Meeresboden vermessen und damit wichtigen Problemen der Menschheit begegnen. So lassen sich etwa Effekte des Klima-

wandels an der Veränderung von Korallenriffen ablesen. Eine spezielle hyperspektrale Kamera ermöglicht die Messungen unter Wasser: Die Technologie dafür entstand am Max-Planck-Institut für marine Mikrobiologie, PlanBlue hat sie nun zu einem neuen und benutzerfreundlichen Produkt weiterentwickelt. Die Kamera scannt automatisch Meeres- und Seeböden sowie Flussbetten. Genutzt werden kann sie von jedem erfahrenen Taucher – nicht ausschließlich von Experten. Insgesamt ist die Technologie von PlanBlue schneller, präziser und günstiger als bisherige Methoden, Böden unter Wasser zu untersuchen.

Das neue Geschäftsmodell feiert bereits erste Erfolge: So gewann PlanBlue im Dezember 2018 die Galileo Masters – einen europäischen Start-up-Wettbewerb für die Raumfahrtbranche, der Ideen in Zusammenhang mit dem gleichnamigen europäischen Navigationssystem auszeichnet. PlanBlue verwendet Galileo, um die gesammelten Daten später auf der Landkarte verorten zu können.

Die Vermessung der Unterwasserwelt: Mit einer von Max-Planck-Forschern entwickelten Spezialkamera können Taucher den Meeresboden kartieren.



Masernviren gegen Krebs

Max-Planck-Innovation schließt Lizenzvereinbarung mit Themis Bioscience ab

Ob als Auslöser von Grippe, Herpes, Masern oder Pocken – Viren sind eigentlich unsere Feinde. Doch in der Krebstherapie können sie zu ungeahnten Helfern werden. Denn Viren sind in der Lage, Krebszellen besonders gut zu infizieren und dabei hocheffizient zu zerstören. Wissenschaftler sprechen hierbei von Onkolyse. Das Biotech-Unternehmen Themis Bioscience mit Sitz in Wien hat nun die Lizenz zur Entwicklung, Herstellung und Vermarktung von Therapien auf der Grundlage einer onkolytischen Masernvirus-Plattform erworben. Entwickelt wurde die lizenzierte Technologie vom Max-

Planck-Institut für Biochemie in Martinsried gemeinsam mit der Eberhard Karls Universität Tübingen. Dabei handelt es sich um ein modifiziertes Masernvirus auf der Basis der Virusgenomsequenz des etablierten Masernimpfstoffstammes, mit dem weltweit Milliarden Menschen geimpft werden. Die onkolytischen Masernimpfviren sollen Krebszellen künftig effizienter zerstören, wodurch das bis dahin nicht ausreichend aktive Immunsystem „wachgerüttelt“ und gestärkt werden soll. Im Idealfall werden dabei sämtliche Tumorherde dauerhaft unter die Kontrolle der Immunabwehr gebracht.

Etappensieg für Open Access

Vertragsabschluss zwischen DEAL und Wiley erzielt

Nach fast drei Jahren Verhandlungen hat das Projekt DEAL, das rund 700 akademische Einrichtungen in Deutschland als Konsortium repräsentiert, im Januar einen ersten Abschluss erzielt: Mit dem US-amerikanischen Verlag John Wiley & Sons, einem der weltweit führenden Verlagshäuser im Bereich Forschung und Lehre, vereinbarte das Konsortium eine richtungsweisende bundesweite Partnerschaft. Gegen eine jährliche Gebühr ermöglicht die geschlossene Dreijahresvereinbarung allen im Projekt DEAL vertretenen Institutionen Zugang zu den wissenschaftlichen Journalen von Wiley bis in das Jahr 1997 zurück. Zudem können Forscherinnen und Forscher der beteiligten Wissenschaftseinrichtungen ihre Artikel als Open-Access-Veröffentlichungen in den Zeitschriften von Wiley publizieren. Um die Unterzeichnung des Vertrags zwischen dem Projekt DEAL und Wiley zu ermöglichen, gründete die Max-Planck-Gesellschaft – als Mitglied der Allianz der deutschen Wissenschaftsorganisationen, die hinter dem Projekt-DEAL-Konsortium steht – die Max Planck Digital Library Services GmbH. Der Vertrag ist mittlerweile auch öffentlich zugänglich.

 www.projekt-deal.de



Bei der Vertragsunterzeichnung: Guido Herrmann, Managing Director von Wiley, und Frank Sander, Managing Director bei der Max Planck Digital Library Services GmbH.

Ins Netz gegangen



Mit Licht musizieren

Höhepunkt der Ausstellung „Laser, Licht, Leben“ im Supernova-Planetarium der Europäischen Südsternwarte (ESO) in Garching ist eine zwei Meter große Laserharfe. Besucherinnen und Besucher haben die Chance, dieses futuristische Musikinstrument zu spielen, indem sie die Strahlengänge von grünem Laserlicht unterbrechen. An Experimentierstationen kann man zudem mithilfe von Lichtwellen Musik übertragen und selber einen Laser justieren, ähnlich wie im Labor. Die Schau, die von der Ludwig-Maximilians-Universität und dem Max-Planck-Institut für Quantenoptik konzipiert wurde, ist noch bis 26. Mai 2019 zu besichtigen. Sie vermittelt einen Überblick über die Lasertechnologie von ihren Anfängen bis heute.
www.laserlichtleben.de

Kunst im Kopf

Wenn wir ein Museum besuchen, gibt es einige Kunstwerke, an denen laufen wir einfach vorbei. Andere faszinieren uns so sehr, dass wir sie stundenlang betrachten könnten. Was passiert dabei in unserem Gehirn? Das haben Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler vom Max-Planck-Institut für empirische Ästhetik untersucht und dabei die Gehirnaktivitäten angeschaut – und zwar in der Zeitspanne, in der sich ästhetische Erfahrungen entfalten. Der Radiosender detektor.fm hat Edward Vessel interviewt. Er ist Neurowissenschaftler am Frankfurter Institut und erklärt im Podcast die wichtigsten Forschungsergebnisse. Erhellend nicht nur für Kunstliebhaber.
<https://detektor.fm/wissen/forschungsquartett-wie-nimmt-unser-gehirn-kunst-wahr>

Offener Brief für grüne Gentechnik

98 führende Forschungsinstitute haben sich in einem Schreiben an EU-Kommissionspräsident Jean-Claude Juncker gewandt, um ihre Besorgnis zum Ausdruck zu bringen, die mit einer Einschränkung der CRISPR-Cas9-Technologie im Bereich der Pflanzenzüchtung einhergeht. Dabei werden keine artfremden Erbinformationen mehr wie früher in Soja oder Kartoffeln verschoben. Und: Die im Labor erzeugten Pflanzensorten hätten ebenso gut in der Natur entstehen können – durch natürliche Mutation oder konventionelle Kreuzung. Der offene Brief, der in Englisch verfasst ist, wird von mehreren Max-Planck-Instituten mitgetragen und kann unter folgendem Link nachgelesen werden.
<https://bit.ly/2DK4je6>

Die Macht der Erwartungen

Werbung ist eine Wunschmaschine: Mit dem richtigen Deo kann jeder ein cooler Typ werden, der neue Joghurt macht garantiert schlank, und im Urlaubsresort am Meer wartet das Paradies. Bekanntermaßen erzählen Werbespots nur Geschichten, die in uns die Erwartung wecken sollen, dass wir mithilfe des entsprechenden Produkts künftig cool, schlank oder gut erholt sein werden. Ganz ähnlich, sagt unser Autor, funktioniert das Wirtschaftssystem insgesamt. Auch in der scheinbar rationalen Welt der Investoren und Analysten spielen Geschichten eine wesentliche Rolle.

TEXT JENS BECKERT

Die Wirtschaft gilt uns als Inbegriff von Rationalität. Auf der Grundlage ausgefeilter mathematischer Modelle, detaillierter Kalkulationen und punktgenauer Prognosen treffen Investoren und Unternehmer ihre Entscheidungen und maximieren so ihren Nutzen. Der Soziologe Max Weber sprach zu Beginn des 20. Jahrhunderts vom modernen Kapitalismus

.....

**Niemand kann voraussehen,
ob eine Idee umsetzbar ist,
ob ein Produkt Käufer findet**

als einem „stahlharten Gehäuse“, das alle Akteure in den Modus der rationalen Kalkulation zwingt. Dieses Bild von Wirtschaft als Ort rational kalkulierten Handelns ist uns auch heute geläufig. Es wird in wirtschaftswissenschaftlichen Lehrbüchern ebenso vermittelt wie in den Verlautbarungen der an Gewinn-

maximierung orientierten Wirtschaftsakteure, wenn sie ihre Entscheidungen begründen.

Tatsächlich aber beschreibt dieses Bild allenfalls einen Teilaspekt der modernen Wirtschaft. Denn die Zukunft ist offen und daher ungewiss. Sie ist durch genuine Neuheit geprägt, durch Entwicklungen, die nicht bereits im Bestehenden enthalten, sondern einzigartig sind. Das galt seinerzeit für den Telegraf und gilt heute für die künstliche Intelligenz. Niemand kann voraussehen, welche Entdeckungen gemacht werden, ob eine Idee auch technisch umsetzbar ist und ob die darauf basierenden Produkte einen Markt finden werden. Investitionsentscheidungen müssen demnach auf Annahmen beruhen, deren Richtigkeit nur beschränkt beurteilt werden kann und von denen man im Prinzip weiß, dass sie sich im Nachhinein häufig als falsch herausstellen. Und selbst wenn es um weniger bahnbrechende Neuheiten geht, können Entscheidungssituationen so komplex sein,

Glänzende Aussicht: Wer diese Kleidung trägt, rückt ins Rampenlicht, suggeriert das Schaufenster. So hebt die Modefirma hervor, dass ihre Produkte als Statussymbol dienen.



dass es völlig unmöglich ist, sämtliche relevanten Einflussfaktoren zu berücksichtigen. Dies funktioniert allenfalls in den Modellen wirtschaftswissenschaftlicher Lehrbücher mit ihren unzähligen eng gefassten Annahmen. Im Alltag sind die Akteure nicht

Auch die Welt der Investoren und Analysten funktioniert nur scheinbar rein rational

in der Lage, Kausalbeziehungen vollständig zu berücksichtigen. Verschärft wird dieses Problem durch den sozialen Charakter wirtschaftlichen Handelns: Anders als bei chemischen Molekülen sind die Reaktionen der Akteure und ihre Wechselwirkung nicht vorhersehbar, auch weil die Akteure unter Beobachtung ihr Verhalten verändern.

Dennoch müssen Entscheidungen zu Innovationsprojekten, Kapitalinvestitionen, Investitionen in Berufsqualifikationen oder auch Entscheidungen zum Kauf von Konsumgütern getroffen werden. Akteure tun dies auf Grundlage der Erwartungen, die sie hinsichtlich künftiger Entwicklungen bilden. Doch diese Erwartungen lassen sich nicht einfach aus der Vergangenheit ableiten. Auch orientieren sich Akteure in modernen Wirtschaftssystemen nicht einfach an Traditionen oder Normen. Wie aber können wir Erwartungen und die dadurch motivierten Entscheidungen verstehen, wenn die Situation durch fundamentale Ungewissheit gekennzeichnet und es nicht möglich ist, optimale Entscheidungen rational zu kalkulieren?

Die Antwort lautet: als Fiktionen! Dies mag zunächst abwegig erscheinen, wollen Wirtschaftsakteure doch ihr Geld nicht an irgendwelche erfundenen Geschichten verschwenden. Aber ein genauerer Blick verweist auf verblüffende Übereinstimmungen zwischen dem Wesen fiktionaler Texte und den Kontexten, in denen Wirtschaftsakteure unter der Bedingung von Ungewissheit ihre Entscheidungen treffen.

In diesen Entscheidungen spiegeln sich die Vorstellungen der Wirtschaftsakteure vom zukünftigen Zustand der Welt. Da es keine in der Zukunft liegen-

den Fakten geben kann und die Zukunft sich nicht einfach wie die Fortsetzung der Vergangenheit verhält, sind diese Vorstellungen keine gesicherte Vorwegnahme einer zukünftigen Gegenwart. Vielmehr sind die imaginierten Zukünfte Geschichten, die als „Platzhalter“ dienen und es den Akteuren ermöglichen, Entscheidungen zu treffen, als ob sich die Zukunft in die angenommene Richtung entwickeln würde. Hierfür müssen sie von der Geschichte überzeugt sein: Sie muss ihnen glaubwürdig erscheinen, nicht aber richtig sein. Auch Romane und fiktionale Erzählungen beruhen darauf, dass der Autor so tut, als ob sich ein bestimmter Ereignisfluss so zugetragen hätte wie beschrieben, und die Leserinnen und Leser folgen ihm in dieser Intention. In Entscheidungen unter der Bedingung von Ungewissheit wie auch in fiktionalen Erzählungen gilt: Autorinnen und Autoren wie Rezipientinnen und Rezipienten haben ein gebrochenes Verhältnis zur Realität. Unterschiede bestehen freilich auch: Insbesondere hinterfragen Akteure in der Wirtschaft die Geschichte immer wieder kritisch und revidieren sie gegebenenfalls, wenn neue Fakten bekannt werden oder sich die Situation neu interpretieren lässt. Doch letztendlich bleibt es dabei: Da es keine zukünftigen Fakten geben kann, bleiben Erwartungen fiktional.

Innovationen sind vielleicht das Paradebeispiel für den fiktionalen Charakter von Entscheidungen in der Wirtschaft. Schon Joseph Schumpeter sah zu

Entscheidungen mit ungewissem Ausgang sind der Treibstoff der Ökonomie

Beginn des 20. Jahrhunderts in seiner *Theorie der wirtschaftlichen Entwicklung*, dass eine Innovation zunächst lediglich in der Imagination des Unternehmers besteht. Gewissermaßen als Wunschbild. Dieser ändert die Nachfrage nach Produktionsfaktoren so, *als ob* die Innovation bereits realisiert wäre, und bringt somit – wenn erfolgreich – die Imagination tatsächlich in die Welt. Studien, die die Praxis von



Innovationsprozessen beleuchten, bestätigen Schumpeter. Am Anfang von Innovationsprozessen stehen „promissorische Geschichten“, Versprechen, mit denen eine bestimmte technologische Zukunft ausgemalt und oft auch als unvermeidbar dargestellt wird. Es entsteht eine Agenda, in der der Weg in diese Zukunft gezeigt wird und die den einzelnen Akteuren wie in einem Roman ihre Rollen zuweist. Wenn die Geschichte plausibel erscheint, folgen ihr Wissenschaftler, staatliche Geldgeber und private Investoren. Die derzeitige Diskussion um die künstliche Intelligenz ist ein Beispiel für diese narrative Motivation gegenwärtiger Entscheidungen durch Imaginationen der Zukunft.

Am Anfang von Innovationsprozessen weiß niemand, ob diesen Erfolg beschieden sein wird. Es gibt kein Wissen um das fertige Produkt, sondern eine Imagination, aus der ein Hype entstehen kann, wenn sie als glaubwürdig erachtet wird. Dieser Hype ist jedoch nicht einfach ein irrationaler Überschwang, sondern wesentliche Grundlage für die Dynamik des Kapitalismus.

Um herauszufinden, ob die Idee ein bloßes Hirn-gepinnt ist oder tatsächlich realisierbar, bedarf es oft der Mobilisierung erheblicher Ressourcen. Es werden Szenarien erstellt und Prognosen gefertigt, meist unterlegt mit vielen Zahlen. Die Geschichte einer möglichen Zukunft kommt zum Vorschein, und wenn diese den Akteuren hinreichend glaubwürdig erscheint, werden die Mittel bereitgestellt, die das Ausprobieren der Idee überhaupt erst ermöglichen. In den Worten des Organisationsforschers James March muss es Organisationen gelingen, „Räume für den Schutz von Verrücktheiten“ zu schaffen.

Man könnte annehmen, dass auch Grundlagenforschung in solchen Räumen stattfindet. Die Ergebnisse und Erfolgchancen solch riskanter Forschung sind hochgradig ungewiss, und erst recht lässt sich nicht vorhersagen, ob und in welchem Maß marktfähige Anwendungen daraus entstehen. Von einer rein rationalen Warte aus betrachtet, muss Grundlagenforschung einen schweren Stand haben. Zu weit entfernt und zu unsicher scheint der praktische Nutzen, den man von ihr erwarten kann. Warum in etwas investieren, für das es allenfalls vage wirtschaftliche Erfolgsaussichten gibt? So verständlich solche

Einwände sind, so problematisch bleiben sie. Denn nicht nur Innovationen, sondern die gesamte Dynamik moderner Ökonomien hängt in erheblichem Maß davon ab, dass sich Wissenschaftler, Unternehmerinnen, Investoren und Konsumentinnen auf Entscheidungen einlassen, deren Erfolgswahrscheinlichkeit nicht bekannt ist und die im Fall des Scheiterns erhebliche Kosten hinterlassen. Doch sollten sie gelingen, sind sie der Treibstoff für die kapitalistische

Wirtschaftlicher Wettbewerb ist vor allem Wettbewerb um die überzeugendere Geschichte

Dynamik. Forscherinnen und Forscher wie auch Forschungsorganisationen reagieren auf diesen Umstand, indem sie erzählen, wie zentrale gesellschaftliche Probleme durch die noch zu machende Entdeckung gelöst werden können, oder indem sie die Zweckfreiheit wissenschaftlicher Erkenntnis hervorheben. Auf diese Weise legitimieren sie die Verwendung von Ressourcen trotz Ungewissheit des Erfolgs. Gesellschaften reagieren, indem Grundlagenforschung zu erheblichen Teilen staatlich finanziert wird und damit stattfinden kann, obwohl ein kurzfristiger Verwertungsdrang des Marktes fehlt.

Bei privaten Unternehmen sind es besonders Start-ups, die für ihre Innovationstätigkeit mit fiktionalen Erwartungen arbeiten. Auf der Suche nach Kapital müssen sie sich in sogenannten Pitches potenziellen Investoren stellen, die auf der Grundlage vorgelegter Geschäftspläne und einer mündlichen Präsentation über ihre Investition entscheiden. Bei solchen Start-ups gibt es das zu verkaufende Produkt häufig noch gar nicht, es soll ja erst durch die bereitgestellten Mittel entstehen. Dennoch enthalten die Geschäftspläne detaillierte Schilderungen der zukünftigen Umsätze, des Marktanteils und der Kosten konkurrierender Produkte. Dies sind jedoch lediglich mehr oder weniger plausible Annahmen: Geschichten über eine Zukunft, die sich die Beteiligten als bereits realisiert vorstellen. In diesem Sinn hat jeder



Businessplan ein gebrochenes Verhältnis zur Realität. Wettbewerb ist hier ganz wesentlich Wettbewerb um die überzeugendere Geschichte.

Was für Innovationen gilt, gilt für die kapitalistische Ökonomie insgesamt. Die gesamte Dynamik moderner Wirtschaftssysteme hängt in erheblichem Maß davon ab, dass sich Wissenschaftler, Unternehmerinnen, Investoren und Konsumentinnen auf Entscheidungen einlassen, deren Erfolgswahrscheinlichkeit nicht bekannt ist. Entscheidungen zur Berufswahl

Zu Krisen kommt es, wenn Erwartungen plötzlich unglaublich erscheinen

sind mit allerhand fiktionalen Erwartungen an die eigene zukünftige Stellung verbunden, die sich die jeweilige Person in der Form einer bereits realisierten Zukunft vorstellt. Der Doktorand sieht sich als Professor, die BWL-Studentin als Marketingvorstand eines großen Unternehmens. Das gesamte Geldsystem beruht auf der fiktionalen Erwartung, dass sich die an sich wertlosen Zahlen auf Konten oder Geldscheinen in der Zukunft in wertvolle Waren eintauschen lassen. Jedes Geldsystem braucht diese kollektive Fiktion – Währungskrisen zeigen, wie potenziell brüchig diese Erwartungen sind. Konsumententscheidungen sind mit Vorstellungen vom zukünftigen Leben mit dem zu kaufenden Produkt verbunden. Dieser antizipative Konsum wird in Urlaubsprospekten, Autokatalogen, Filmtrailern, Lotterielosen oder den Produktpräsentationen der Computerbranche befeuert – in ihnen werden die Motive für Kaufentscheidungen als vorweggenommene Zukunft präsentiert.

Nicht jede beliebige Geschichte kann allerdings Glaubwürdigkeit erlangen. Fiktionale Erwartungen in der Wirtschaft werden ständig kritisch überprüft, nicht zuletzt an den Märkten. Wird Tesla das Autounternehmen der Zukunft, oder werden die Anteilscheine in wenigen Jahren nur noch Makulatur sein? Kapitalistische Dynamik meint sowohl das phänomenale Wachstum der Wirtschaft als auch die seit

der Ausbreitung kapitalistischer Wirtschaftsprinzipien immer wieder auftretenden Wirtschaftskrisen. Zu Krisen kommt es, wenn zuvor als glaubwürdig bewertete Erwartungen plötzlich unglaublich erscheinen. Die Märkte verlieren den Glauben an die Rückzahlung der griechischen Staatsschulden; Konsumenten sehen in einer Marke nicht mehr die Widerspiegelung ihrer gewünschten sozialen Identität. Diese Umschwünge werden nicht einfach durch neue Informationen ausgelöst. Viel häufiger ist es die Neuinterpretation bekannter Informationen oder – im Fall von Konsumgütern – ein neuer Hype, der Bestehendes alt aussehen lässt.

Die Vorstellung von Welten, die es nicht gibt, sondern die erst entstehen sollen, zeigt die Fiktionsfähigkeit des Menschen – die vielleicht grundlegendste Fähigkeit des Menschen überhaupt. Denn genau in dieser Fähigkeit äußert sich die Kreativität des Handelns, die auch Hintergrund der ungeheuren Wachstumsdynamik des Kapitalismus seit seinen Anfängen in den italienischen Handelsstädten ist. Doch schafft sie auch ganz neue Problematiken. Hierzu gehört die Verletzlichkeit von Wirtschaftsordnungen, deren Entwicklung auf der Glaubwürdigkeit von Geschichten basiert. Hierzu gehört ebenso die Möglichkeit von Betrug: Elizabeth Holmes etwa, Vorstandsvorsitzende des einstigen Vorzeigeunternehmens Theranos im Silicon Valley, überzeugte ihre Geldgeber wider besseres Wissen mit der Geschichte der zu erwartenden weiteren Entwicklung ihres revolutionären Geräts zur Blutanalyse. Nachdem ein Journalist der *WASHINGTON POST* dem Betrug auf die Schliche gekommen war, fiel die Bewertung des Unternehmens von neun Milliarden Dollar auf null.

Eine weitere Problematik besteht darin, dass Narrative interessengeleitet zur *Erzeugung* der Zukunft eingesetzt werden. Wenngleich sich die Zukunft nicht vorhersagen lässt, so lässt sie sich doch durch Prophetien prägen, deren Narrative Entscheidungen motivieren. Dies kann zur Stabilisierung der Wirtschaft beitragen, wie etwa bei der Verhinderung von Währungskrisen, wenn politische Akteure die Sicherheit von Bankeinlagen in öffentlichen Ansprachen „garantieren.“ Sowohl Präsident Roosevelt in den 1930er-Jahren als auch Kanzlerin Merkel 2008 haben diese Kraft der Beeinflussung von Erwartungen genutzt.

Die Techniken der Vorhersage und der Erzeugung glaubwürdiger Narrative von zukünftigen Entwicklungen können auch genutzt werden, um politische, ideologische und wirtschaftliche Interessen durchzusetzen. Etwa wenn Wirtschaftsvertreter die Einführung von Mindestlöhnen mit Prognosen steigender Arbeitslosigkeit bekämpfen oder wenn Populisten wegen der Aufnahme von Flüchtlingen die zukünftige Islamisierung der deutschen Gesellschaft prophezeien. Technologische Visionen, wie sie derzeit insbesondere von einer Handvoll Akteure im Silicon Valley propagiert werden, enthalten immer auch Gesellschaftsmodelle, die durch diese Technologien erzeugt werden, die sich dabei aber der gesellschaftlichen Diskussion weitgehend entziehen. Dies zeigt: Es gibt eine Politik der Erwartungen. Die Kontrolle über unsere Bilder der Zukunft ist eines der wichtigsten Machtinstrumente – das gilt historisch ebenso wie heute.

Sieht man wirtschaftliche Entscheidungen nicht als rational determiniert, sondern als Ausfluss letztendlich kontingenter Zukunftsvorstellungen, so ergibt sich auch ein neues Verständnis von den Wirtschaftswissenschaften. Die Ökonomik orientiert sich seit dem 19. Jahrhundert an der Physik als Vorbild. So wie es physikalische Naturgesetze gibt, gebe es Gesetze der Wirtschaft. Wie beim Kräftegleichgewicht in der Physik tendiere eine Marktwirtschaft ebenfalls zum Gleichgewicht. Wenn für die Dynamik der Wirtschaft jedoch die Interpretationen der Akteure ausschlaggebend sind und die Glaubwürdigkeit von Geschichten über zukünftige Entwicklungen, dann ist nicht die Physik, sondern vielmehr die Hermeneutik – die Lehre von der Interpretation – das Modell für die Wirtschaftswissenschaften. Die Natur erzählt keine Geschichten, die Wirtschaft hingegen beruht auf ihnen. Wie in sämtlichem sozialen Handeln agieren auch in der Wirtschaft die Akteure aufgrund der Bedeutung, die eine Situation für sie erlangt. Die Situation muss „gelesen“ werden – selbstverständlich auch mithilfe mathematischer Modelle. Der Wirtschaftsnobelpreisträger Robert Shiller spricht von einer „narrativen Wirtschaftswissenschaft“. Wenn dies zutrifft, dann liefern jene Disziplinen, die sich mit den Bedeutungsstrukturen der sozialen Welt befassen, das Modell auch zum Verständnis der Wirtschaft: die Geistes- und Sozialwissenschaften. ◀



DER AUTOR

Jens Beckert, Jahrgang 1967, ist seit 2005 Direktor am Max-Planck-Institut für Gesellschaftsforschung und Professor für Soziologie an der Universität zu Köln. Zuvor hat er unter anderem in Göttingen, New York, Princeton, Paris und an der Harvard University gelehrt. Im Mittelpunkt seiner Forschung stehen die soziale Einbettung der Märkte, insbesondere illegaler Märkte, sowie die Themen Erbschaften und Vermögensungleichheit. Im Jahr 2018 wurde Beckert mit dem Leibniz-Preis der Deutschen Forschungsgemeinschaft ausgezeichnet.



DAS BUCH

Jens Beckert
Imaginierte Zukunft
 Fiktionale Erwartungen und die Dynamik des Kapitalismus.
 Suhrkamp Verlag, Berlin 2018
 569 Seiten, 42 Euro



Mit der Familie an den Pazifik

Max-Planck-Wissenschaftler kooperieren mit Partnern in rund 120 Ländern dieser Erde. Hier schreiben sie über persönliche Erlebnisse und Eindrücke. Carolin Hillemanns vom Max-Planck-Institut für ausländisches und internationales Strafrecht hat sieben Monate mit ihrer Familie in Kalifornien gelebt. Dort ist sie einem Fahrraddieb, vielen Obdachlosen, nur einem einzigen Trump-Anhänger und außerordentlich herzlichen und großzügigen Nachbarn begegnet.

Santa Cruz gilt als Geburtsort des Mountainbikings, die Stadt hat legendäre Skateboards hervorgebracht, und sie ist vor allem ein Mekka des Wellenreitens. Auch wenn mein Mann nach Palo Alto pendeln musste, entschieden wir uns recht früh für Santa Cruz: für eine überschaubare Kleinstadt direkt am Pazifik und gegen eine von der Realität abgehobene Welt der Reichen im Silicon Valley mit noch überhöhten Mietpreisen. Selbst in Santa Cruz mussten wir einmal umziehen, weil das Haus, in dem wir wohnten, im Sommer 9000 Dollar Miete pro Monat gekostet hätte.

Bei diesen Mieten ist es kein Wunder, dass viele Menschen obdachlos sind, darunter zahlreiche Frauen, Ältere und psychisch Kranke. Viele davon sind drogenabhängig, entsprechend hoch ist die Beschaffungskriminalität. Dass gerade in Santa Cruz die Zahl der Obdachlosen überproportional gross ist, liegt daran, dass sie hier geduldet werden – im Gegensatz zu anderen Städten, wo die Menschen aus dem öffentlichen Blickfeld verdrängt werden.

Die Kriminalität ist ein Problem. Was Fahrraddiebstähle angeht, waren wir ja aus Freiburg einiges gewohnt, aber in Santa Cruz ist es wirklich extrem. Einmal habe ich nachmittags einen Dieb erappt, wie er das abgesperrte Fahrrad meiner Tochter aus unserem Hinterhof tragen wollte. Ich bin hinter ihm hergelaufen und habe laut gerufen; da hat er das Rad über den Zaun zu den Nachbarn geworfen und ist, nicht wirklich beeindruckt, gemächlich davonspaziert. Jeder weiß, dass man Fahrräder wirklich festsperrern muss. Oder man sollte, wenn man einkaufen geht, das Rad in den Laden mit hineinnehmen – das ist tatsächlich üblich.



Dr. Carolin Hillemanns, 46, hat am Institut für Völkerrecht und ausländisches Verfassungsrecht der Universität Zürich promoviert. Schwerpunkte ihrer wissenschaftlichen Arbeit sind unter anderem die soziale Verantwortung von Unternehmen sowie „Transitional Justice“, die Aufarbeitung politischer Gewalt nach gesellschaftspolitischen Umbrüchen. Seit 2007 arbeitet Hillemanns am Max-Planck-Institut für ausländisches und internationales Strafrecht in Freiburg, unterdessen als Forschungs Koordinatorin. 2018 begleitete sie ihren Mann zu einem Forschungsaufenthalt nach Kalifornien und führte ihre eigene Arbeit dort weiter.

Abgesehen davon ist Santa Cruz ein alternatives, liberales Städtchen mit gefühlt fast ebenso vielen Hunden wie Einwohnern und mit einer sehr lebendigen Musik- und Kunstszene. Allerdings denke ich, dass meine Kinder in den sieben Monaten nicht wirklich „die USA“ kennengelernt haben. Kalifornien und besonders Santa Cruz bilden eine echte Ausnahme: In sieben Monaten habe ich nur eine einzige Person getroffen, die Sympathien für Präsident Trump äußerte – ein Tourist aus Nordkalifornien. Wie engagiert liberal die Stadt ist, haben wir beim jährlichen Women’s March erlebt. Tausende sind für Frauenrechte und gegen Trump auf die Straße gegangen. Das war ein bisschen wie in den 68ern – wirklich beeindruckend!

Insgesamt war es für uns alle eine aufregende Zeit, weil wir unmittelbar am Pazifik wohnten, regelmäßig mit dem Rad, das Long Board unter dem Arm, an den Strand fahren. Die Kinder, zum Teil mit gerade mal drei Monaten Schulenglisch im Gepäck, bekamen einen Einblick in einen doch anderen Alltag, eine andere Lebensweise und konnten so ihren Blick auf das Gastland und die Heimat schärfen. So empfanden meine Kinder allesamt, dass die Disziplin im Klassenzimmer deutlich größer ist als in ihren Schulen zu Hause und die Lehrerinnen und Lehrer allen Schulkindern sehr viel Respekt, Wohlwollen und Engagement entgegenbringen. Die Leistungsbereitschaft vieler Jugendlicher, akademisch wie sportlich, hat wiederum mich beeindruckt.

Was mir sicher in Erinnerung bleiben wird, ist das ungewohnte Maß an Hilfsbereitschaft, Freundlichkeit und Respekt im persönlichen Umgang, das wir in Kalifornien erfahren haben. So sind wir von allen Seiten beschenkt worden. Es ist zum Beispiel so, dass der Pazifik auch im Sommer kalt ist. Da haben uns Nachbarn und Freunde Neoprenanzüge für die Kinder geschenkt. Der freundliche Umgang wird schon in der Schule trainiert. Wahrscheinlich würde sonst das Zusammenleben so vieler unterschiedlicher Ethnien und Kulturen gar nicht funktionieren.

Die Freundlichkeit und Herzlichkeit zusammen mit etwas mehr Gelassenheit hoffe ich mir auch daheim in Freiburg zu bewahren. Meine Jüngste ist übrigens jetzt überzeugt, wo sie immer leben möchte: in Deutschland.



Sturmerprobte Gemeinschaft

Mit Krisen haben die Europäer Erfahrung. Wenn man in die Geschichte der europäischen Staatengemeinschaft blickt, wird deutlich: Mehr oder weniger heftige Kontroversen waren über die Jahrzehnte regelmäßig an der Tagesordnung. Aber es gelang auch immer wieder, Lösungsstrategien zu finden, wie das Team um **Stefan Vogenauer** am **Max-Planck-Institut für europäische Rechtsgeschichte** in Frankfurt am Main bei seinen Untersuchungen feststellt. Dabei gewinnen die Forscher auch Erkenntnisse über den gegenwärtigen Zustand der Europäischen Union.

TEXT **MECHTHILD ZIMMERMANN**



Gipfeltreffen mit Zuwachs: Im Oktober 1972 nahmen neben den sechs Gründerstaaten der Europäischen Gemeinschaft erstmals auch Großbritannien, Irland und Dänemark an einer Sitzung der europäischen Staats- und Regierungschefs teil. In den Folgejahren blockierten immer wieder Vetos Einzelner die Einigung in großer Runde.

Brüssel im Sommer 1965: „Drei Minuten nach Mitternacht erloschen im Palais des Congrès die Lichter. Die in Brüssel versammelten Minister (...) saßen im Dunkeln. Wer darin ein schlechtes Omen sah, fand sich schnell bestätigt: Nachdem der Kurzschluss behoben war, dauerte es nur noch 107 Minuten, bis die Verhandlungen scheiterten. Am 1. Juli kurz vor zwei Uhr morgens begann die bisher schwerste Krise des Gemeinsamen Marktes.“

In dieser Nacht, deren bitteres Ende die Wochenzeitung *DIE ZEIT* vom 9. Juli 1965 beschreibt, begann die Politik des leeren Stuhls. Auch aus Sicht von Stefan

Vogener, Direktor am Max-Planck-Institut für europäische Rechtsgeschichte, war diese Phase die schwerste Krise in der Geschichte der europäischen Integration. Aus Protest berief die französische Regierung damals ihren ständigen Vertreter in Brüssel ab, blieb den Sitzungen des Ministerrates fern und blockierte damit ein halbes Jahr lang die gesamte Gemeinschaft.

Erst sieben Jahre zuvor hatten sich Deutschland, Frankreich, Italien, Belgien, die Niederlande und Luxemburg in der Europäischen Wirtschaftsgemeinschaft (EWG) zusammengeschlossen. Seit Januar 1958 waren die Römischen Verträge in Kraft. Darin war festge-

schrieben, dass die Errichtung eines europäischen Binnenmarktes und die schrittweise Annäherung der Wirtschaftspolitik die Entwicklung und den Wohlstand in den Ländern fördern und die Beziehungen zwischen den Staaten verbessern sollte. Doch die Vorstellungen, wie weit die Integration gehen muss, lagen weit auseinander.

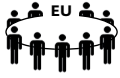
Den damaligen französischen Staatspräsidenten Charles de Gaulle könnte man aus heutiger Sicht durchaus als Europaskeptiker bezeichnen. Er befürwortete zwar ein Europa mit Frankreich und Deutschland als Stützpfeiler. Wichtiger war ihm jedoch, seinem Land wieder zu seinem einstigen Rang in der Welt



Europäischer Gerichtshof

Richter aus allen Mitgliedsländern

urteilt über EU-Recht und legt aus



Europäischer Rat

Gipfel der Staats- und Regierungschefs

gibt allgemeine politische Richtung vor



Ministerrat

Fachminister aus den Mitgliedsländern (z. B. Außen- oder Agrarminister)



EU-Kommission

Kommissare (ein unabhängiger Kommissar je Mitgliedsland)

schlägt Gesetze vor

kontrolliert



Europäisches Parlament

751 Abgeordnete aus allen Mitgliedsländern

wählen direkt



EU-Bürger

beschließen gemeinsam Gesetze und EU-Haushalt

Verteilte Führung: Neben der EU-Kommission und dem Europäischen Parlament als überstaatliche Einrichtungen haben auch die einzelnen Mitgliedstaaten im Europäischen Rat und im Ministerrat Einfluss auf die Entwicklung der Gemeinschaft. Der Europäische Gerichtshof agiert unabhängig, hat aber in der Vergangenheit die Integration immer wieder vorangetrieben.

zu verhelfen. Die nationale Eigenständigkeit hielt de Gaulle für wesentlich und sah dementsprechend überstaatliche europäische Institutionen kritisch. Die Kontroverse, die schließlich in der Krise von 1965 gipfelte, entzündete sich an zwei Punkten: Bei einer Reihe wichtiger Fragen sollte ein Mehrheitsvotum eingeführt werden. Zudem agierte die EWG-Kommission unter Walter Hallstein aus de Gaulles Sicht wie „eine europäische Regierung“, denn sie plante beispielsweise, einen eigenständigen Gemeinschaftshaushalt einzuführen.

Hinter der französischen Blockade steckten jedoch noch weitere Gründe: Der französische Präsident wollte seinem Land eine dominierende Rolle in der Europäischen Gemeinschaft sichern

und insgesamt den Einfluss der nationalen Regierungen stärken. Erst im Januar 1966 kamen die Franzosen wieder mit den übrigen EWG-Mitgliedern an einen Tisch, wo sie schließlich den sogenannten Luxemburger Kompromiss aushandelten: eine Vetomöglichkeit für einzelne Staaten, die ihre nationalen Interessen gefährdet sehen.

INTEGRATION DURCH KRISE – JE SCHLIMMER, DESTO BESSER

Die Geschehnisse zeigen: Auch früher ging es in Europa keineswegs ruhiger und harmonischer zu. „Krisen hat es immer gegeben“, sagt Rechtshistoriker Stefan Vogenauer, „das vergisst man gern. Seit ich die Entwicklung verfolge,

war die Europäische Gemeinschaft eigentlich in einem permanenten Krisenmodus.“ Eine der wenigen Ausnahmen war die Zeit der ausgehenden 1980er-Jahre und der beginnenden 1990er-Jahre, als Jacques Delors Kommissionspräsident war und man sich auf die Einheitliche Europäische Akte und den Vertrag von Maastricht einigte. „Solche Sprünge in der europäischen Integration gab es auch immer mal“, sagt Vogenauer. „Aber dann folgten wieder lange Phasen des taktischen Rückzugs oder des Stillstands.“

Krisen haben jedoch immer zwei Seiten. Walter Hallstein, von 1958 bis 1967 erster Präsident der EWG-Kommission, war der festen Ansicht, die Europäische Gemeinschaft könne „gerade in der krisenhaften Zuspitzung an Statur und Festigkeit gewinnen“, erklärt Philip Bajon, Historiker in Vogenauers Team: „Das ist Teil seiner Theorie und seines Selbstverständnisses als Kommissionspräsident gewesen: Integration durch Krise – je schlimmer, desto besser.“

Hallstein war habilitierter Jurist und überzeugter Europäer. Als Gründervater der Europäischen Gemeinschaft sah er Europa als eine Rechtsgemeinschaft – ein Begriff, der seit damals in der Diskussion um die europäische Integration eine wichtige Rolle spielt. Trotzdem ist es nicht so einfach, die „europäische Rechtsgemeinschaft“ eindeutig zu definieren, sagt Thorben Klünder, der sich für seine Doktorarbeit mit dem Begriff auseinandersetzt. „Einerseits wird davon ausgegangen, dass es die Rechtsgemeinschaft schon gab, bevor sich die europäischen Staaten per Vertrag zusammengeschlossen haben.“ Es geht also um so etwas wie eine Wertegemeinschaft, die mit dem Römischen Recht schon über Jahrhunderte eine gemeinsame rechtliche Grundlage hatte.

Doch der Begriff wird andererseits auch verwendet im Sinne einer Idealvorstellung, wonach sich die europäischen Staaten rechtlich immer weiter angleichen sollen, erklärt Klünder: „Bei Walter Hallstein ist es zum Beispiel so: Wir waren eine Rechtsgemeinschaft und sollten noch stärker eine werden.“ Das Wort in seinen verschiedenen Be-

deutungen hatte sicher Einfluss auf unser Verständnis von der Europäischen Gemeinschaft, meint Klünder: „Die Rechtsgemeinschaft lässt sich durchaus als Erzählung verstehen, wie die europäische Integration vor sich geht, nämlich durch das Recht.“

Was in der Theorie gut klingt, erweist sich in der Umsetzung als schwierig. Auch wenn es in Europa einen gewissen Konsens über Rechtsstaatlichkeit oder Grundrechte gibt, wird es kompliziert, sobald es um Detailfragen geht. Da die Europäische Union auch heute noch vor allem auf den Binnenmarkt ausgerichtet ist, geht es dabei zwar „nur“ um das Ziel, für die Wirtschaft in sämtlichen Mitgliedstaaten gleichwertige Bedingungen zu schaffen. Aber diese Bedingungen wirken sich letztlich auf Themen aus, die alle betreffen: Verbraucherschutz, Umweltschutz, Arbeitnehmerrechte ebenso wie nationale Gepflogenheiten von der Lebensmittelherstellung bis zur Gestaltung von Autokennzeichen.

EIN JOHANNISBEERLIKÖR VERÄNDERTE DIE POLITIK

Bald zeigte sich, dass völlig übereinstimmende rechtliche Regelungen für alle Staaten nicht durchzusetzen waren, erzählt Philipp Schmitt, ebenfalls Doktorand in der Abteilung Vogenauer. „Die Europäische Kommission wollte die Rechtsgemeinschaft und versuchte die rechtliche Vereinheitlichung voranzutreiben. Aber die Länder stellten sich immer wieder quer. Besonders in Bereichen, in denen sich die Mitglieder einig einigten sollten, wurde das zum Problem.“ Schmitt erforscht, wie sich die sogenannte Mindestharmonisierung entwickelt hat. Sie stellt einen Ausweg aus dem Dilemma dar, der von den 1960er-Jahren bis in die jüngere Vergangenheit häufig genutzt wurde: Bei EU-Richtlinien, also bei Regelungen, die von den einzelnen Nationalstaaten noch in eigene Gesetze umgewandelt werden müssen, schaffte sie einen Spielraum für nationale Anliegen. Die Staaten mussten sich nur auf einen Mindeststandard einigen, strengere Regeln waren möglich.



Schmitt nennt ein frühes Beispiel aus den 1970er-Jahren: die Reduzierung von Blei im Benzin. „Deutschland hatte als einziges Land den Bleigehalt gesetzlich bereits stark verringert, als die Regelung auf europäischer Ebene einstimmig angeglichen werden sollte. Die anderen Mitglieder wollten schrittweise den Bleigehalt senken; Deutschland setzte aber eine Ausnahme durch, die strengere Grenzwerte erlaubte.“ Bei seinen Analysen und Vergleichen stößt Philipp Schmitt auch auf länderspezifische Muster: „Vor allem Staaten, die in bestimmten Bereichen hohe Standards haben, drängen häufig auf Ausnahmen. Für die Deutschen war der Umweltschutz oftmals ein wichtiges Anliegen, die Dänen pochten im sozialen Bereich

Engagiert für Europa: Als die Briten 1975 schon einmal über die Mitgliedschaft in der Europäischen Gemeinschaft abstimmten, warb Margaret Thatcher als Vorsitzende der Tories für ein Ja zu Europa – mit Erfolg: Mehr als zwei Drittel der Briten stimmten dafür. Die Argumente waren auf beiden Seiten damals weitgehend die gleichen wie heute.

auf ihre Prinzipien. Und die Briten legten großen Wert auf Tierschutz.“

Die Mindestharmonisierung entspricht zwar nicht dem Ideal der Rechtsvereinheitlichung. Doch die europäische Einigung hat von der Möglichkeit, strengere Maßstäbe zuzulassen, durchaus profitiert, meint Philipp Schmitt: „Ich denke, in einem Europa mit Gegensätzen war das ein guter Weg, im gemeinsamen Markt voranzuschreiten,

ohne auf soziale Anliegen oder den Umwelt- und Verbraucherschutz zu verzichten.“ Denn genau diese Gefahr besteht, wenn sich eine Gruppe auf den kleinsten gemeinsamen Nenner einigen muss: „Es besteht dabei grundsätzlich die Gefahr eines *race to the bottom*, das heißt: Am Ende setzt der niedrigste Standard den Maßstab.“

Heute sieht die Europäische Kommission Ausnahmeregelungen für strengere nationale Standards alles andere als gern. Schmitt kann die Argumente dafür durchaus verstehen: „Das ist eine Frage der Perspektive: So wichtig die Abweichungen nach oben etwa für den Verbraucherschutz sind – für die Wirtschaft bedeuten unterschiedliche Widerspruchsfristen oder Schadensersatzansprüche ein Hemmnis.“

Eine wichtige Frage in dem Kontext ist, inwieweit es für den gemeinsamen Markt überhaupt nötig ist, Details zentral zu regulieren. Dazu fällt der Europäische Gerichtshof (EuGH) Ende der 1970er-Jahre ein wegweisendes Urteil. Der Streitfall klingt zunächst eher banal, es ging um Johannisbeerlikör: Eine deutsche Supermarktkette wollte französischen Crème de Cassis in ihr Sortiment aufnehmen. Weil der Alkoholgehalt nicht dem deutschen Branntweingesetz entsprach, durfte der Likör jedoch nicht verkauft werden. Dagegen klagte das Unternehmen und bekam vor dem EuGH recht. Die Richter begründeten das Urteil damit, dass nationale Regelungen den europäischen Binnenmarkt nur dann einschränken dürfen, wenn es zwingend relevant ist, etwa zur steuerlichen Kontrolle oder wenn die öffentliche Gesundheit gefährdet wird. Im Fall des Likörs sah das Gericht solche Gründe nicht.

Das sogenannte Cassis-de-Dijon-Urteil von 1979 setzte neue Maßstäbe für die Rechtsangleichung, sagt Philipp Schmitt: „Vorher hätte man in einer Richtlinie für ‚Euroschnaps‘ einen bestimmten Alkoholgehalt festgesetzt, weil einheitliche Vorgaben nötig schienen, um den freien Warenverkehr zu ermöglichen. Das EuGH-Urteil hat den Weg geebnet weg von der Produktangleichung und hin zu mehr gegenseitiger Anerkennung.“



Gemeinsame Aufarbeitung: Das Team um Stefan Vogenauer (oben rechts) befasst sich intensiv mit der Europäischen Union und ihrer Geschichte. Insa Jarass (oben links) arbeitet zu Fragen des Europäischen Privatrechts. Philip Bajon untersucht das Veto nach dem Luxemburger Kompromiss, Philipp Schmitt erforscht die Entwicklung der Mindestharmonisierung, und Thorben Klünder widmet sich dem Begriff der europäischen Rechtsgemeinschaft (unten von links).



Der Europäische Gerichtshof hat nicht nur mit diesem Urteil den gemeinsamen Markt in Europa vorangetrieben. Er gilt über die Jahrzehnte als „Motor der Integration“ – eine Rolle, die umstritten ist. Kritik kommt nicht nur von Politikern, die nationale Interessen gefährdet sehen, sondern auch von wissenschaftlicher Seite, vor allem von Politikwissenschaftlern und Soziologen (siehe auch „Die Union der Verschiedenen“, Seite 30). Sie kritisieren, der Gerichtshof habe über die Jahre bewusst politisch agiert und damit seine Kompetenzen überschritten.

Stefan Vogenauer hat einen Schwerpunkt seiner Forschung auf die Geschichte des Europäischen Gerichtshofs gelegt. Er und sein Team untersuchen

die Vergangenheit der Institution nicht nur anhand von Akten, Protokollen und anderen schriftlichen Unterlagen, sondern erfassen in einem Pilotprojekt auch die *oral history*: In Interviews befragen sie Richter, Generalanwälte und hohe Verwaltungsbeamte, die in der Vergangenheit dort tätig waren, und vergleichen die Erinnerungen mit den offiziellen Schriftstücken.

Eine Frage in den Gesprächen betrifft die möglicherweise politische Rolle des Gerichts. Die Antwort darauf fällt unterschiedlich aus, erzählt Philip Bajon, der solche Interviews gemeinsam mit einer Kollegin geführt hat: „Viele Gesprächspartner beharren darauf, dass der EuGH nur das Recht angewandt habe – also keine politische Rolle, kein

Aktivismus, kein Spielraum. Nur vereinzelt hört man, dass ihre Rolle mitunter auch eine politische war.“

Unabhängig vom eigenen Rollenverständnis riefen Urteile des obersten europäischen Gerichts in den Mitgliedstaaten oft heftige emotionale Reaktionen hervor, besonders wenn traditionelle nationale Regelungen betroffen waren. Stefan Vogenauer erinnert an das Urteil zum Reinheitsgebot 1987: „Das war das erste Mal, dass die deutsche Öffentlichkeit gesagt hat: ‚Da kommen diese Leute aus Brüssel und machen uns unser Reinheitsgebot kaputt.‘ Das war geradezu traumatisch. Heute redet kein Mensch mehr davon. Das deutsche Bier verkauft sich gut im Ausland. Und hier in Deutschland kann man vermutlich Bier kaufen, das ohne Reinheitsgebot gebraut ist – das kauft bloß keiner.“

ES GAB NIE DEN VERSUCH, DIE ENTWICKLUNG ABZUWÜRGEN

Für Vogenauer ist das Reinheitsgebot ein Beispiel dafür, dass es in jeder Nation starke, letztlich oft kompromisslose Positionen gibt, von denen die Bürger erwarten, dass die Politik sie verteidigt. So ist es nicht verwunderlich, dass die Staats- und Regierungschefs im Ministerrat oft sehr stark ihre nationalen Interessen vertreten – in der Vergangenheit genauso wie heute.

Besonders in den 1970er-Jahren kam zu diesem Zweck oft der Luxemburger Kompromiss zur Anwendung – das Agreement, das einst Charles de Gaulles „Politik des leeren Stuhls“ beendete. Die Mitglieder hatten damals ausgehandelt, dass jeder Staat gegen einen Mehrheitsbeschluss ein Veto einlegen kann, wenn „nationale Interessen“ auf dem Spiel stehen. Die „nationalen Interessen“ wurden nicht näher definiert, und der Luxemburger Kompromiss wurde nie zu europäischem Recht. Den Regierungen kam ein vages, mehr politisches Agreement ganz gelegen, weil es ihnen einen größeren Handlungsspielraum verschaffte, wenn sie sich darauf beriefen, um Abstimmungen im Ministerrat zu blockieren. In den 1970er-Jahren führte die große Zahl an Vetos zur sogenannten Eurosklерose, einer weitgehenden

Blockade der europäischen Politik. Erst mit den großen Vertragsrevisionen ab Mitte der 1980er-Jahre wandelte sich die Entscheidungskultur.

Philip Bajon hat sich intensiv mit dem Luxemburger Kompromiss und seiner Anwendung befasst. Auffällig ist, dass in den 1970er-Jahren gleichzeitig mit der Phase der Eurosklерose der Europäische Gerichtshof die europäischen Integration mit grundlegenden Urteilen wesentlich vorantrieb. Die rechtliche und die politische Seite agierten also in entgegengesetzte Richtungen, sagt Bajon: „Trotzdem gab es nirgends den großen Versuch, die Kompetenzen des EuGH zu begrenzen, die Entwicklung abzuwürgen oder gar das Rad der Geschichte zurückzudrehen.“ Er schließt daraus, dass das Veto ein Instrument war, um auch die Kritiker ins Boot zu holen und das Mitmachen zu erleichtern. „Es hat den Regierungen den Eindruck vermittelt, dass sie die Kontrolle behalten über den Gang der europäischen Integration.“

Nur ein einziges Mal scheiterte der Versuch eines Mitglieds, sein Veto einzulegen, spektakulär: 1982 wurde Großbritannien bei dem Versuch, eine Abstimmung zu blockieren, überstimmt. Damals hatten die Briten ihre Zustimmung zu den gemeinsamen Agrarpreisen an Zugeständnisse im Haushalt geknüpft. Das ging den anderen Staaten zu weit, die Preise wurden ohne Zustimmung Großbritanniens beschlossen. „Die Briten werteten das als massiven Schlag gegen ihre Souveränität“, erzählt Bajon, „mit allen Konsequenzen: Schon damals gingen diverse Brexit-Szenarien durch die Presse.“ Die Argu-

mente in der Debatte waren damals die gleichen wie heute: Es ging um die Angst vor Fremdbestimmung und den Wunsch, volle Souveränität über die Regeln im eigenen Land zu haben.

Für Stefan Vogenauer spiegelt der Brexit letztlich das Spannungsfeld wider, in dem sich die Europäische Union seit ihrer Gründung als Wirtschaftsgemeinschaft bewegt: Wie kann ich alle Vorteile haben, die eine Vereinheitlichung bringt mit Marktzugang, mit günstigen Produktionskosten, weniger Bürokratieaufwand für Patentanmeldungen – ohne meine Identität oder auch meine hinter dem Recht liegenden Werte wie Verbraucher- und Umweltschutz aufzugeben? „Da immer den richtigen Ausgleich zu finden, ist nicht leicht“, betont Vogenauer. „Das Beispiel Brexit zeigt: Die Briten wollen die Quadratur des Kreises, einerseits vollen Marktzugang, andererseits volle Souveränität über die eigenen Regeln und Standards. Aber beides gleichzeitig geht nicht.“

Vogenauer kann dem Brexit auch etwas Positives abgewinnen. So zeigten etwa aktuelle Umfragen in Europa, dass derzeit in keinem Mitgliedstaat mehr eine Mehrheit gegen die EU stimmen würde. Das war vor dem Votum der Briten für den Austritt Großbritanniens noch anders. Nach Ansicht des Rechtshistorikers ist es durchaus möglich, dass der Brexit die übrigen Mitglieder zusammenschweißt und einen Sprung nach vorne ermöglicht – ganz im Sinne des ersten europäischen Kommissionspräsidenten Walter Hallstein, der in jeder Krise eine Chance sah, das Zusammenwachsen Europas zu stärken. ◀

 www.mpg.de/podcasts/europa

AUF DEN PUNKT GEBRACHT

- Die europäische Einigung steht schon von Beginn an in einem Spannungsfeld: Der gemeinsame Binnenmarkt erfordert Vereinheitlichung. Die Staaten möchten jedoch ihre nationale Selbstbestimmung nicht aufgeben.
- Kompromisse, etwa in Form von Mindeststandards mit Ausnahmeregelungen, haben in der Vergangenheit das Zusammenwachsen in Europa erleichtert.
- Eine informelle Vetomöglichkeit, die von Mitte der 1960er- bis Mitte der 1980er-Jahre häufig zum Einsatz kam, gab den nationalen Regierungen ein Gefühl der Kontrolle über die voranschreitende Integration.



Ringen um das gemeinsame Recht

Die Europäische Union ist nicht nur ein Binnenmarkt, sie ist auch ein gemeinsamer Raum des Rechts. Doch die Vorstellungen, was einen Rechtsstaat ausmacht, driften auseinander. Besonders Polen und Ungarn definieren seit geraumer Zeit ihre eigenen Regeln. **Armin von Bogdandy**, Direktor am **Max-Planck-Institut für ausländisches öffentliches Recht und Völkerrecht** in Heidelberg, forscht über diese „Verfassungskrise“ und die Reaktionsmöglichkeiten der EU.

Im Zeichen des Rechts: Urteile des Europäischen Gerichtshofs spielen eine wichtige Rolle für die Rechtsstaatlichkeit in Europa. Mit dem lateinischen Begriff *curia*, der im Mittelalter für die Rechtsprechung des Königs stand, stellt sich der Gerichtshof in die europäische Tradition.

TEXT CHRISTIAN RATH

Die EU ist eine Rechtsgemeinschaft. Schon der Binnenmarkt würde kaum funktionieren, wenn es keine gemeinsamen Regeln gäbe. Nationale Behörden wenden die europäischen Regeln an, nationale Gerichte kontrollieren sie dabei. Nur in Zweifels- und Konfliktfällen wird der Europäische Gerichtshof (EuGH) eingeschaltet.

Seit rund 20 Jahren hat sich darüber hinaus eine enge Zusammenarbeit der Gerichte und Ermittlungsbehörden entwickelt. Urteile werden gegenseitig anerkannt. Polizisten helfen sich. Auslieferungen sind innerhalb der EU durch den Europäischen Haftbefehl stark vereinfacht. Das alles setzt voraus, dass die EU-Staaten sich gegenseitig vertrauen können, weil überall gleichwertige rechtsstaatliche Standards gelten und eingehalten werden.

Artikel 2 des EU-Vertrags benennt die grundlegenden europäischen Werte: „die Achtung der Menschenwürde, Freiheit, Demokratie, Gleichheit, Rechtsstaatlichkeit und die Wahrung der Menschenrechte“. Sie prägen die EU und sind „allen Mitgliedstaaten“ gemeinsam, heißt es. Aber stimmt das auch?

Armin von Bogdandy, Direktor am Heidelberger Max-Planck-Institut für ausländisches öffentliches Recht und Völkerrecht, hat Zweifel. Er forscht schon seit rund zehn Jahren über die „EU-Verfassungskrise und die Rule of Law“, also die Rechtsstaatlichkeit. Wie kann Europa als Rechtsgemeinschaft funktionieren, wenn die Mitgliedstaaten selbst Schwierigkeiten mit der Rechtsstaatlichkeit haben?

Problematisch sind zum Beispiel Staaten mit schwachen Institutionen

wie Griechenland. „Die Ineffizienz bei der Durchsetzung des griechischen Steuerrechts war ein Grund für die dramatische griechische Finanzlage“, so von Bogdandy. Die Verwaltung des Landes gilt als intransparent, aufgebläht und korrupt.

Groß sind auch die Probleme in Rumänien und Bulgarien, die 2007 der EU beitraten. Die Justiz war damals nur unzureichend in der Lage, gegen organisierte Kriminalität und Korruption vorzugehen. Deshalb wurden beide Staaten verpflichtet, sich einem Kontrollverfahren zu unterziehen. Jedes Jahr erstattet die EU-Kommission Bericht über Justizreform und Korruptionsbekämpfung. Und meistens sind diese Berichte nicht ermutigend.

DAS VERTRAUEN IN DIE JUSTIZ DER ANDEREN IST WESENTLICH

Doch längst werden diese Probleme von den Auseinandersetzungen mit Ungarn und Polen in den Schatten gestellt. Ungarn wird seit 2010 von Viktor Orbán nach eigenen Worten zu einer „illiberalen Demokratie“ umgebaut. Die Regierung verfolgt das Ziel, ihren Einfluss auf Medien, Bildungseinrichtungen und auch auf Gerichte auszuweiten.

In Polen versucht die Regierungspartei PiS unter Jarosław Kaczyński seit 2015 mit einer Vielzahl von Gesetzen, die Justiz unter ihre Kontrolle zu bringen. Sie hat für eine regierungsfreundliche Mehrheit am polnischen Verfassungsgericht gesorgt. Auch der Justizverwaltungsrat, der die polnischen Richter ernannt, wird inzwischen von der politischen Mehrheit kontrolliert. Der Justizminister kann zudem alle Prä-

sidenten der Amts-, Kreis- und Woiwodschaftsgerichte auswechseln. Zuletzt sollte auch der Oberste Gerichtshof Polens auf Linie gebracht werden und die bisher unbeugsame Präsidentin des Obersten Gerichtshofs, Małgorzata Gersdorf, ihren Posten verlieren.

Armin von Bogdandy ist in der Diskussion um die Sicherung der EU-Rechtsstaatlichkeit eine zentrale Figur. Er entwickelt dabei vor allem Argumente und Rechtsfiguren, um die Grundwerte der EU auch in abdriftenden Staaten anzumahnen.

„Die EU muss bei systemischen Defiziten eingreifen“, lautet von Bogdandys zentrale These. Dabei geht es ihm nicht um punktuelle Probleme. „Ein systemisches Defizit liegt vor, wenn in wichtigen Bereichen das Vertrauen in das Recht und seine Durchsetzbarkeit verloren ging.“ Im Blick hat von Bogdandy dabei die Anwendung nicht nur von EU-Recht, sondern auch von rein nationalem Recht. Das Vertrauen in das Recht und seine Institutionen ist wichtig für Bürger und Unternehmen, die Geschäfte machen und ihr Leben gestalten. Das Vertrauen ist fundamental für die EU, die den Mitgliedstaaten Regeln vorgibt und teilweise erhebliche Gelder überweist. Vertrauen ist auch notwendig, wenn Mitgliedstaaten in Polizei- und Justizverfahren untereinander kooperieren. Wenn es bei der Rechtsstaatlichkeit auf nationaler Ebene systemische Defizite gibt, ist es für die EU schwer, als Rechtsgemeinschaft zu funktionieren, so der Heidelberger Wissenschaftler.

Von Bogdandy hatte vor einiger Zeit eine Argumentation zum Umgang mit systemischen Rechtsstaatsdefiziten vorgestellt. EU-Bürger sollen in Ausnahme-

fällen einen Anspruch auf europäischen Grundrechtsschutz durch nationale Gerichte (soweit noch unabhängig) oder direkt durch den Europäischen Gerichtshof haben. Von Bogdandy spricht von einer umgekehrten Solange-Doktrin und spielt dabei auf einen Beschluss des Bundesverfassungsgerichts aus dem Jahr 1986 an. Karlsruhe hatte damals entschieden, dass es seine eigene Grundrechtskontrolle von EU-Rechtsakten ruhen lässt, „solange“ der EuGH einen im Wesentlichen gleichwertigen Grundrechtsschutz garantiert. In der umgekehrten Konstellation heißt dies: Die mitgliedstaatlichen Institutionen sind jenseits EU-rechtlicher Kontexte für den nationalen

Grundrechtsschutz selbst verantwortlich – solange sie den Wesensgehalt der Grundrechte schützen. Wenn nicht, folge aus der EU-Bürgerschaft der Anspruch Einzelner auf einen „europäischen Rettungsschirm für Grundrechte“, so von Bogdandy. Da sich der EuGH das Konzept aber noch nicht zu eigen gemacht hat, ist es bislang nur ein viel diskutierter akademischer Vorschlag.

2016 hat von Bogdandy zudem den „Heidelberger Gesprächskreis Verfassungsgerichtsverbund“ gegründet, gemeinsam mit hochrangigen Persönlichkeiten wie Andreas Voßkuhle, dem Präsidenten des Bundesverfassungsgerichts. In diesem Kreis debattieren Wissenschaftler mit Verfassungsrichtern und

europäischen Richtern. Auch EuGH-Präsident Koen Lenaerts und die deutsche Richterin am Europäischen Gerichtshof für Menschenrechte in Straßburg, Angelika Nußberger, gehören zu der Runde. 2018 war das Thema des Gesprächskreises: „Gegenseitiges Vertrauen im Europäischen Rechtsraum“. Von Bogdandy kann so seine Forschungsergebnisse direkt mit zentralen Akteuren diskutieren – und sie ihnen auch nahebringen.

Doch was kann die EU konkret tun, wenn es in einzelnen Staaten Probleme gibt? In Betracht kommen derzeit vor allem vier Maßnahmen.

Am niedrigschwelligsten ist das Dialogverfahren. Es beruht auf einem „EU-Rahmen zur Stärkung des Rechts-

» Aus der EU-Bürgerschaft folgt im Grunde der Anspruch auf einen europäischen Rettungsschirm für Grundrechte.



Tauziehen in Polen:
Die Regierung von Jarosław Kaczyński (ganz links) versucht seit 2015, die Justiz unter ihre Kontrolle zu bringen. Małgorzata Gersdorf (großes Bild), die Präsidentin des Obersten Gerichtshofs, sollte im Juli 2018 zwangspensioniert werden, weigerte sich jedoch, ihr Amt aufzugeben.



staatsprinzips“, den die EU-Kommission 2014 beschlossen hat. Für diesen Dialog sind drei Phasen vorgesehen. Zunächst macht die EU-Kommission eine Sachstandsanalyse, in der sie die Probleme beschreibt. Darüber spricht sie vertraulich mit dem Staat. Wenn sich das Problem nicht geräuschlos lösen lässt, gibt die Kommission öffentliche Empfehlungen ab und versieht diese mit Fristen. In der dritten Phase prüft die Kommission, ob die Empfehlungen umgesetzt wurden, und zieht Schlussfolgerungen daraus. Es heißt, dass dieses Dialogverfahren stark durch die Ideen von Bogdandys inspiriert wurde. Allerdings sieht das Prozedere keine Sanktionen vor.

Größere Geschütze finden sich im EU-Vertrag (Artikel 7) für den EU-Ministerrat, das Gremium der Mitgliedstaaten. Mit 80 Prozent seiner Mitglieder könnte der Rat die „eindeutige Gefahr einer schwerwiegenden Verletzung“ der EU-Grundwerte feststellen. Dies soll eine Art letzte Warnung sein. Im nächsten Schritt könnte der Rat dann feststellen, dass „eine schwerwiegende und nachhaltige Verletzung“ der EU-Grundwerte vorliegt. Dieser Beschluss muss einstimmig erfolgen (ohne den betroffenen Staat). Wenn diese Hürde genommen ist, können mit qualifizierter Mehrheit bestimmte Sanktionen ausgelöst werden, etwa der Verlust der Stimmrechte. Hier sind zwar harte Sanktionen möglich, allerdings ist das Verfahren auch stark politisiert. Sobald zwei Staaten zusammenhalten, sind Sanktionen praktisch ausgeschlossen.

Die dritte Möglichkeit sind Vertragsverletzungsverfahren, die wiederum die EU-Kommission auslösen kann. Sie kann dabei einzelne Mitgliedstaaten beim Europäischen Gerichtshof (EuGH) verklagen. Hier geht es dann nicht um große Ganze, sondern um einzelne Gesetze. Diese Verfahren sind oftmals wirkungsvoll, weil bei Nichtbefolgung von EuGH-Anordnungen und -Urteilen hohe Geldbußen drohen. Andererseits bleiben solche Verfahren häufig technisch und unpolitisch, weil sie die Entwicklung autoritärer Herrschaftsstrukturen nicht thematisieren.

Als Viertes gibt es Verfahren beim Europäischen Gerichtshof, die von nationalen Gerichten initiiert werden. Dabei geht es um die Frage, ob ein Gericht in einem Staat mit einem problematischen Mitgliedstaat noch justiziell zusammenarbeiten kann. Hier spielt das Vertrauen in die Rechtsstaatlichkeit des anderen Staates eine zentrale Rolle. Kann ein Bürger an diesen Staat ausgeliefert werden, wenn er dort wegen einer Straftat angeklagt ist? Die Frage ist für den EuGH heikel. Wenn er eine Auslieferung verbietet, weil im Zielstaat keine rechtsstaatliche Behandlung garantiert ist, hilft dies zwar dem Betroffenen, schädigt aber die europäische Zusammenarbeit bei der Kriminalitätsbekämpfung. Wenn er sie billigt, verschließt er die Augen vor den rechtsstaatlichen Problemen in dem betreffenden Land.

POLEN UND UNGARN STÜTZEN SICH GEGENSEITIG

Ob diese Maßnahmen kurzfristig wirksam sind, ist für Armin von Bogdandy gar nicht entscheidend. Die Hauptsache ist für ihn, die EU tut etwas und reagiert auf systemische Defizite. „Hier kann die große Mehrheit der EU eine rote Linie ziehen und das Selbstverständnis im Klub definieren.“ So verhindere man auch, dass das Rechtsstaatsverständnis zweifelhafter Staaten bald als zwar anders, aber doch gleichwertig angesehen wird.

In den letzten drei Jahren hat sich der Kampf um die Unabhängigkeit polnischer Gerichte zugespitzt. Er gilt inzwischen als Lackmустest für die Fähigkeit der EU, rechtsstaatliche Strukturen in den Mitgliedstaaten zu wahren. Hier lässt sich auch exemplarisch zeigen, was die Instrumente der EU in der Praxis leisten können.

So war Polen der erste Staat, mit dem die EU-Kommission einen Dialog über die Rechtsstaatlichkeit führte. Von Januar 2016 bis Dezember 2017 veröffentlichte die EU-Kommission insgesamt vier Empfehlungen an Polen, die sich auf unterschiedliche Gesetze bezogen. Die Empfehlungen blieben aus Sicht der EU-Kommission allerdings erfolglos. >



Links Gefragter Redner:
Armin von Bogdandy ist in der
Diskussion um die Rechtsstaatlich-
keit in der EU auch in osteuro-
päischen Ländern präsent, hier
auf einer Konferenz in Budapest.

Unten Gemeinsames Abwarten:
Laut EU-Vertrag hätte der
Ministerrat die Möglichkeit, für
Polen die „eindeutige Gefahr einer
schwerwiegenden Verletzung“
der EU-Grundwerte festzustellen.
Bisher haben sich die Mitglieder
nicht dazu entschlossen.



» Es gilt zu verhindern, dass das Rechtsstaatsverständnis zweifelhafter Staaten bald als anders, aber gleichwertig angesehen wird.

Deshalb beantragte die EU-Kommission im Herbst 2017 das Artikel-7-Verfahren. Der EU-Ministerrat hat hier aber noch keinen Beschluss gefasst. Ein Entzug von Polens Stimmrecht scheint fast ausgeschlossen, denn Polen und Ungarn haben sich gegenseitig versichert, einen einstimmigen Beschluss gegen den jeweils anderen Staat zu verhindern.

Parallel dazu hat die EU-Kommission beim EuGH zwei Vertragsverletzungsverfahren wegen der polnischen Justizreform eingeleitet. Für Aufsehen sorgte vor allem die zweite Klage aus dem September 2018, in der es um die Herabsetzung des Pensionsalters für Richter am polnischen Obersten Gericht ging. Damit konnten 27 der 72 amtierenden Richter zwangsweise in den Ruhestand geschickt werden, inklusive der Präsidentin Gersdorf.

Ende Oktober erließ der EuGH auf Antrag der Kommission eine einstweilige Anordnung dagegen. Die betroffenen Richter konnten daraufhin an ihren Arbeitsplatz zurückkehren. Einen Monat später beschloss darüber hinaus der Sejm, das polnische Parlament, im Schnellverfahren ein Gesetz, das die Reform weitgehend zurücknimmt. Zumindest punktuell hat die EU damit bewiesen, dass sie am längeren Hebel sitzt.

Auch mit der Auslieferung von Straftätern an Polen hat sich der EuGH im Jahr 2018 befasst. In einem Fall, den der irische High Court vorgelegt hatte, empfahl der EuGH ein zweistufiges Vorgehen. Zuerst sollen nationale Gerichte prüfen, ob in Polen generell eine Gefahr für die Unabhängigkeit der Justiz besteht. Hierfür könne das eingeleitete Artikel-7-Verfahren wichtige Hinweise geben. Im zweiten Schritt müsse dann geprüft werden, ob sich diese Gefahr auch auf den konkreten Fall auswirken kann. Damit stellte der EuGH in

Rechnung, dass die Gefahr eines unfairen Gerichtsverfahrens in politisch brisanten Fällen höher ist als bei Alltagskriminalität. Auf diese Weise ersparte sich der Gerichtshof geschickt eine eigene Einschätzung der Rechtsstaatlichkeit Polens, indem er die Analyse den nationalen Gerichten überließ.

DIE SELBSTHEILUNGSKRÄFTE IM LAND STÄRKEN

Ob die Bemühungen der EU in Polen auf lange Sicht erfolgreich sein werden und welche Instrumente dabei die größte Wirkung versprechen, dazu will Armin von Bogdandy keine Prognose abgeben. Er sei weder Politologe noch kenne er die polnische Innenpolitik ausreichend.

Der Heidelberger Max-Planck-Direktor legt Wert darauf, dass er nicht nur aus der Ferne über die Situation in Ungarn und Polen forscht, sondern Fragestellungen und Bewertungen auch mit Wissenschaftlern und Richtern aus diesen Ländern entwickelt. 2017 führte er beispielsweise eine entsprechende Tagung in Warschau durch.

Zugleich warnt er aber auch davor, die problematischen EU-Staaten nur als Objekt von EU-Maßnahmen zu sehen. „Diese Länder haben ihre eigene Sichtweise, die wir anhören und sorgsam prüfen sollten.“

Im Falle Polens behauptet die PiS-Regierung etwa, sie stelle selbst die Rechtsstaatlichkeit erst her, indem sie Richter aus der kommunistischen Zeit und korrupte Parteigänger der bürgerlichen Vorgängerregierung entferne. Zudem behaupten Polen und Ungarn, ihnen würden Strukturen angekreidet, die in anderen Staaten wie Deutschland noch nie beanstandet wurden, etwa die Richterwahl in politisch besetzten Gremien.

Von Bogdandy ist froh, dass es bei solchen Diskussionen neben den EU-Institutionen auch unabhängige Gremien wie die Venedig-Kommission des Europarates gibt. Diese Kommission ist ein Expertengremium, das Staaten in Verfassungsfragen berät, aber auch begutachtet. Sie hat sowohl den Justizumbau in Ungarn als auch jenen in Polen klar beanstandet.

Von Bogdandy geht es aber weniger darum, Compliance der Regierung von außen zu erzwingen. Er will vor allem die Selbstheilungskräfte im jeweiligen Land stärken. „Wenn die EU auf einer rechtsstaatlichen und unabhängigen Justiz besteht, wird dies im betroffenen Staat durchaus wahrgenommen.“ Ein gutes Zeichen ist für ihn, dass am EuGH immerhin bereits neun Richtervorlagen aus Polen mit Fragen zur polnischen Justizreform anhängig sind. ◀

 www.mpg.de/podcasts/europa

AUF DEN PUNKT GEBRACHT

- Polen und Ungarn stellen mit politischen Eingriffen die Unabhängigkeit der Justiz und damit die Rechtsstaatlichkeit der EU infrage.
- Die EU hat mehrere Möglichkeiten, hierauf zu reagieren. Am wirkungsvollsten sind wohl Vertragsverletzungsverfahren aus Anlass konkreter Gesetze, die gegen EU-Recht verstoßen.
- Erfolg wird die EU auf lange Sicht nur haben, wenn sie die Selbstheilungskräfte in den betroffenen Mitgliedstaaten stärkt.



Die Union der Verschiedenen

An der Frage, wie sich Europa weiterentwickeln soll, scheiden sich die Geister. Auf der einen Seite stehen die Euroskeptiker, die sich stärkere Nationalstaaten wünschen. Es gibt aber auch zahlreiche Verfechter einer stärkeren europäischen Integration. Am **Max-Planck-Institut für Gesellschaftsforschung** in Köln lotet die Europaforschung um **Martin Höpner** und **Fritz Scharpf** aus, wie stark sich die Mitgliedstaaten angesichts ihrer großen strukturellen Unterschiede überhaupt annähern können.

TEXT **CASPAR DOHMEN**



Europa wird das sein, worauf die Europäer sich einigen können, oder es wird nicht sein“, schrieben die Politiker Hans Eichel (SPD), Roland Koch (CDU) sowie der Philosoph Jürgen Habermas und der Ökonom Bert Rürup in ihrem Aufruf für ein solidarischeres Europa im Herbst 2018. Sie forderten mehr Europa, angefangen von einer einheitlichen europäischen Armee bis hin zu einer Mindestabsicherung für Arbeitslose von Portugal bis Rumänien. Andere Pro-Europäer fordern ein grünes Europa oder ein soziales Europa. Es gibt viele gute Gründe für derartige Wünsche. Aber wie wahrscheinlich ist es, dass sich die 27 EU-Mitglieder, die nach dem Austritt Großbritanniens noch übrig bleiben, auf solch anspruchsvolle Integrationschritte einigen?

Nach den Erkenntnissen der Europaforscher am Max-Planck-Institut für Gesellschaftsforschung in Köln hat die politische und ökonomische Heterogenität der Mitgliedsländer einen wesentlichen Einfluss auf das Zusammenwachsen Europas. „Die Heterogenität bestimmt maßgeblich den Raum des politisch Möglichen“, sagt der Politikwissenschaftler Martin Höpner, Leiter der Forschungsgruppe „Politische Ökonomie der europäischen Integration“. „Daraus ergibt sich, was realistisch machbar ist und was nicht.“ Angesichts gravierender struktureller Unterschiede sind die Forscher skeptisch. Mit ihrer Sicht der Dinge dürften sie auf Europavisionäre wie die Spielverderber vom Dienst wirken. Dabei wollen die Wissenschaftler aufzeigen, was realistische Handlungsoptionen sind.

Zwei Welten: In Bulgarien, dem ärmsten Mitglied der EU, sind 20 Prozent der Menschen so arm, dass sie nicht einmal grundlegende Bedürfnisse stillen können. Besonders hart trifft es Roma (links). In Luxemburg, dem reichsten EU-Land, sind sieben Prozent der Bürger Millionäre, und manch einer zeigt seinen Reichtum auch gerne.

Das könnte auch davor schützen, dass Bürger enttäuscht werden, weil sich die hochfliegenden Pläne der Visionäre nicht in die Tat umsetzen lassen.

Theoretisch sprach lange Zeit vieles für eine Angleichung der Lebensverhältnisse in der EU. In der Praxis verlief die Integrationsgeschichte Europas jedoch anders: Von Erweiterung zu Erweiterung wurden die Unterschiede zwischen den Mitgliedsländern größer, und sie schwanden, abgesehen von Irland, auch nicht wesentlich mit der Zeit. Mit den



Ausfuhren auf Rekordniveau: Deutschland hat im Jahr 2018 so viele Waren exportiert wie nie zuvor. Die deutsche Wirtschaft profitiert davon, dass der Euro – wegen der wirtschaftlich schwächeren Länder der Eurozone – im weltweiten Vergleich zu niedrig bewertet ist.

sechs Gründungsmitgliedern der Europäischen Gemeinschaft (Deutschland, Frankreich, Italien, Belgien, den Niederlanden und Luxemburg) gab es anfangs, gemessen an der wirtschaftlichen Leistungsfähigkeit, eine vergleichsweise homogene Gruppe. Dies änderte sich erstmals durch den Beitritt der Südländer (Spanien, Portugal und Griechenland) ab Anfang der 1980er-Jahre und ganz wesentlich nach dem Fall der Mauer mit der Beitrittswelle von Staaten aus Ost- und Mitteleuropa. Bis heute existiert eine Wohlstandskluft: Im reichsten Mitgliedsland Luxemburg ist das Bruttoinlandsprodukt je Bürger mehr als zehnfach so hoch wie in Bulgarien, dem Schlusslicht in der EU. Das Ungleichgewicht spiegelt sich auch bei den Mindestlöhnen: In Luxemburg stehen Beschäftigten 11,55 Euro je Stunde zu, in Bulgarien gerade einmal 1,57 Euro.

Die Europa-Arbeitsgruppe am Max-Planck-Institut für Gesellschaftsforschung legt ihrer Arbeit vor allem die Methode der vergleichenden politischen Ökonomie zugrunde, ein gängiges Instrument aus dem Werkzeugkasten von

Politologen, Soziologen und Ökonomen. Damit untersuchen Wissenschaftler, welche strukturellen Unterschiede es zwischen Staaten gibt und ob die Heterogenität Folgen hat, etwa für die Integration regionaler Wirtschaftsräume wie in der Europäischen Union. Im Kern geht es um unterschiedliche Ausprägungen des Kapitalismus. So unterscheiden der amerikanische Politikwissenschaftler Peter A. Hall und der britische Ökonom David Soskice in ihrem Klassiker *Varieties of Capitalism* koordinierte Ökonomien in Kerneuropa von liberalen Marktökonomien wie den USA oder Großbritannien. Der dänische Soziologe Gøsta Esping-Andersen sortiert Staaten mit Blick auf sozialdemokratische, konservative und liberale Sozialstaatsmodelle. Fritz Scharpf, emeritierter Direktor am Kölner Max-Planck-Institut und noch heute in der Forschung aktiv, identifizierte bereits Ende der 1970er-Jahre zwei andere wichtige Variablen für die unterschiedliche wirtschaftliche Entwicklung von Ländern: die Art der Inflationsbekämpfung und die Art des Lohnfindungssystems. Der Einfluss die-

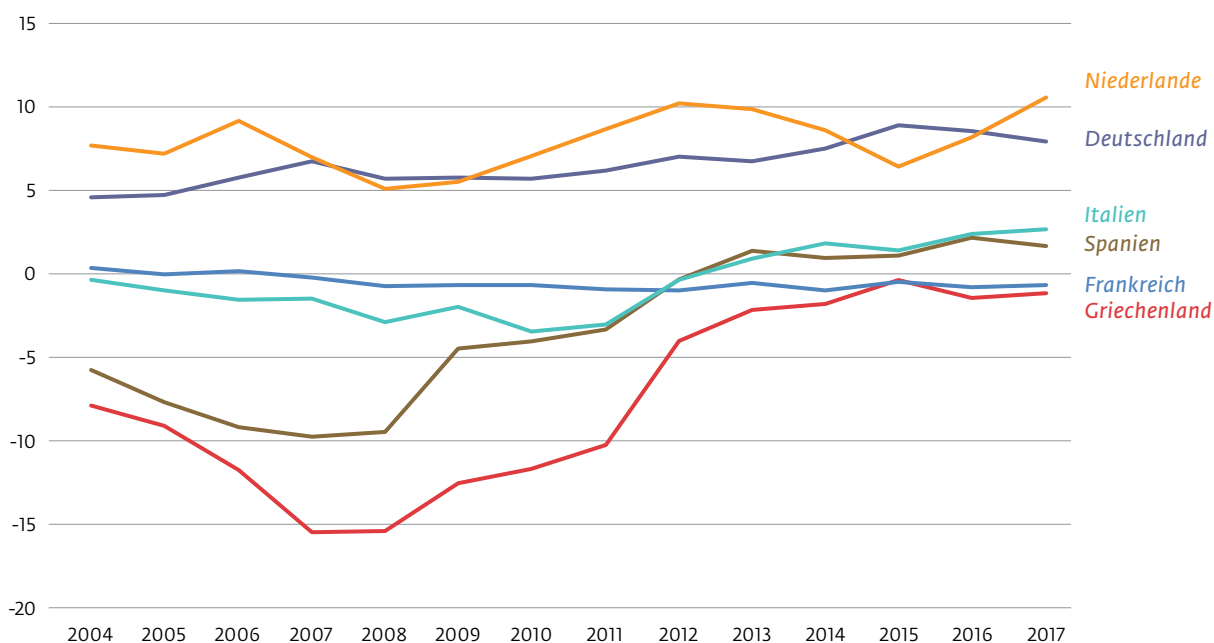
ser Faktoren war mit der Ölkrise deutlich geworden: Die Folge war, dass sich einst vergleichbare Länder während der 1970er-Jahre wirtschaftlich auseinanderentwickelten.

UNTERSCHIEDE ERSCHWEREN EINEN EUROPÄISCHEN KONSENS

Eine eindeutige Schwelle, ab der Heterogenität Integration verhindert, gebe es nicht, sagt Höpner. Aber in der politikökonomischen Forschung bestehe Einigkeit darüber, dass „die Heterogenität zwischen den EU-Mitgliedsländern enorm ist“. Eindrücklich illustrierten dies etwa die Höhe der Mindestlohnsätze, die Ausgestaltung der Arbeitnehmermitbestimmung oder die Art und Weise der Besteuerung. Trotzdem hat in der EU eine Menge Integration stattgefunden – auf unterschiedliche Art und Weise.

Fritz Scharpf unterschied bereits in den frühen 1990er-Jahren zwischen positiver und negativer Integration, was ganz wesentlich ist, um den Ansatz der Kölner Forscher zu verstehen. Die Be-

Leistungsbilanzsaldo in Prozent des BIP



griffe enthalten keine Bewertung, sondern sollen lediglich zwei unterschiedliche Wege beschreiben, mit denen „mehr Europa“ verwirklicht wird. Negative Integration findet demnach statt, wenn nationale Handelshemmnisse in den jeweiligen Ländern beseitigt werden. Bestes Beispiel ist die Schaffung des gemeinsamen Binnenmarkts. Die Gemeinschaft verbot jedem Mitgliedstaat protektionistische Maßnahmen wie Zölle oder eigene Produktvorgaben, sogenannte nichttarifäre Handelshemmnisse. Der EU-Binnenmarkt wurde auf diese Weise liberalisiert.

Eine solche negative Integration kann nicht nur durch gesetzliche Vorgaben der EU erfolgen. Auch der Europäische Gerichtshof entwickelt sie durch Urteile weiter. Das geschieht regelmäßig. Wegweisend war etwa die Cassis-de-Dijon-Entscheidung des EuGH im Jahr 1979. Wenn ein Produkt in einem Mitgliedsland rechtmäßig in den Verkehr gebracht wurde, dürfe es grundsätzlich auch in allen anderen Mitgliedsländern verkauft werden, urteilten die Richter.

Von positiver Integration sprechen die Forscher dagegen, wenn die EU für alle Mitgliedstaaten verbindliche Politiken schafft. Solche Entscheidungen setzen in der EU noch heute einen weit-

gehenden politischen Konsens zwischen den Mitgliedern voraus. „Aufgrund der strukturellen wirtschaftlichen Unterschiede ist es aber außerordentlich schwierig, einen solchen Konsens zu erreichen“, sagt Höpner.

DIE EU SCHAFFT EHER STANDARDS AB, ALS NEUE ZU SETZEN

Bestes Beispiel ist die Diskussion über Steuerharmonisierung. Große EU-Staaten haben durch Steuerkonkurrenz viel zu verlieren und drängen eher auf eine Angleichung der Steuersätze etwa für Unternehmenssteuern, kleine oder ärmere EU-Staaten sind eher daran interessiert, mittels niedriger Steuersätze Unternehmen anzuziehen. „Das ist ein legitimes Interesse“, findet Höpner. Groß sind die Interessengegensätze auch bei der Frage der Regulierung des Arbeitsmarktes, was sich am Beispiel der Entsenderichtlinie zeigt. Ärmere Länder haben ein Interesse daran, dass ihre heimischen Firmen die niedrigeren Standards und Löhne zumindest teilweise in reichere Länder exportieren können. Die wohlhabenderen Länder wollen dies möglichst unterbinden. Aufgrund dieser Interessenunterschiede ist es sehr schwierig, sich auf einheitli-

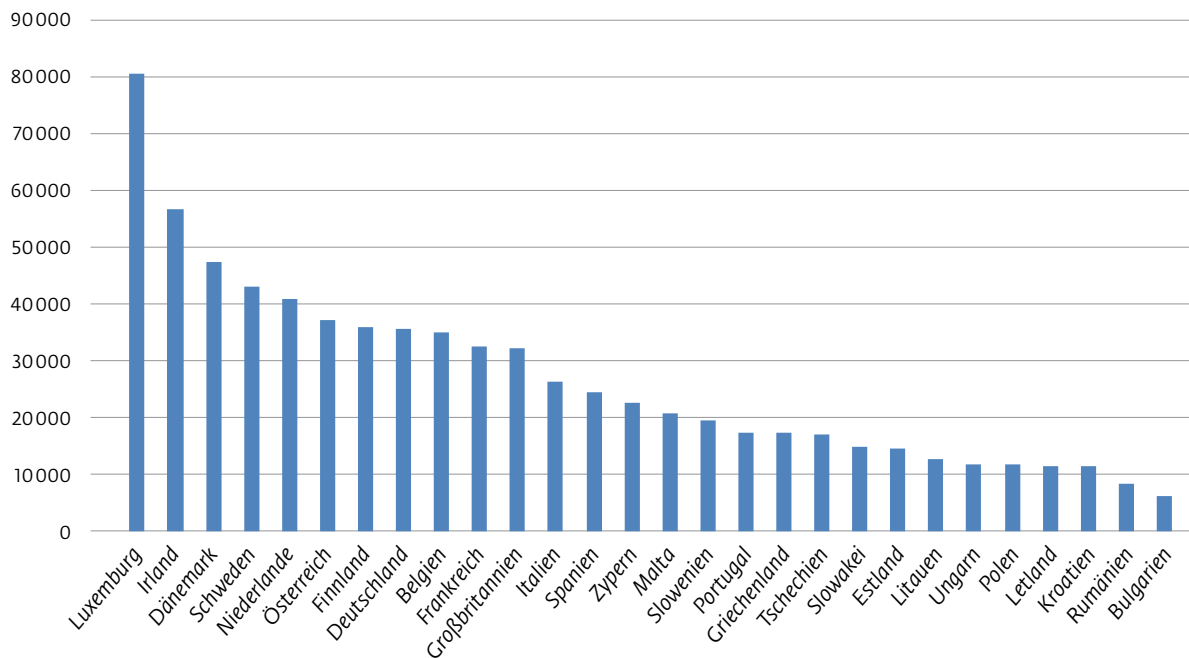
Erzwungene Annäherung: Der Leistungsbilanzsaldo – die Differenz zwischen dem Wert exportierter und dem Wert importierter Waren und Dienstleistungen – hat sich in Griechenland und Spanien positiv entwickelt. Um das zu erreichen, wurden den Menschen in diesen Ländern jedoch deutliche Kürzungen bei den Löhnen und tiefe Einschnitte im Gesundheits- und Rentensystem zugemutet.

che übergeordnete Prinzipien in der Gemeinschaft zu einigen, ob für die soziale Absicherung, für Kapitalsteuern oder Mitbestimmung.

Aufgrund der institutionellen Regeln sei es wesentlich leichter, in der EU mittels negativer Integration politische Fortschritte zu erzielen als mittels positiver Integration. „Diese Asymmetrie ist in das europäische Institutionensystem und damit gewissermaßen in die Tiefengrammatik der EU eingeschrieben“, sagt Höpner: „Die negative Integration entfaltet dabei eine Wucht, die die positive Integration niemals entwickeln könnte.“

Das hat erhebliche Folgen, weil durch die beiden Integrationsmechanismen unterschiedliche Politikfelder bearbeitet werden. Durch positive Integration werden gewöhnlich neue Regeln geschaffen und Standards etabliert,

BIP pro Kopf in Euro im Jahr 2017



Indikator für Ungleichheit: Das Bruttoinlandsprodukt pro Kopf spiegelt die Unterschiede im Wohlstandsniveau wider. Auch wenn die hohe Zahl der Grenzgänger in Luxemburg sowie günstige Steuerbedingungen für außereuropäische Unternehmen in Irland die Zahlen etwas verzerren, so wird doch die Kluft zwischen den EU-Mitgliedern deutlich.

etwa für die Politikbereiche Umwelt oder Soziales. Dagegen betrifft die negative Integration häufig das Politikfeld der Wirtschaft. Hier werden fast immer nationale Standards beseitigt, weswegen die negative Integration fast immer liberalisierend wirkt. Mit dieser Theorie kann man erklären, warum in der EU viele Liberalisierungsschritte erfolgten, es aber kaum Angleichungen im sozialen Bereich gibt.

Regelrecht Sprengkraft entfalten die strukturellen Unterschiede in der Eurozone, der 19 EU-Länder angehören. Nach den Erkenntnissen des emeritierten Max-Planck-Direktors Fritz Scharpf sorgt hier besonders ein Kriterium für Differenzen: wie groß der exportorientierte und der binnenabsatzorientierte Sektor in den jeweiligen Volkswirtschaften ist.

So haben Preissteigerungen in exportorientierten Ländern wie Deutschland oder den Niederlanden eine andere Wirkung als in binnenabsatzorientier-

ten Ländern wie Italien oder Spanien. Für Erstere bedeuten steigende Löhne vor allem steigende Kosten für die auf den Export ausgerichteten Unternehmen. Wachsen die Kosten, müssen diese die Preise für ihre Produkte oder Dienstleistungen erhöhen, was gegenüber den Konkurrenten auf dem internationalen Markt einen Wettbewerbsnachteil bedeutet.

MANCHEN STAATEN NUTZT EINE HÖHERE INFLATION

Natürlich gibt es auch in den auf ihren Binnenmarkt orientierten Ländern exportierende Unternehmen. Für sie stellen Lohnsteigerungen ebenfalls einen Wettbewerbsnachteil dar. Wesentlich entscheidender für die volkswirtschaftliche Entwicklung kann es jedoch sein, dass durch wachsende Löhne die Haushaltseinkommen und damit die Nachfrage steigen. Unternehmen können dann höhere Preise im Inland durch-

setzen und so Produktion und Beschäftigung ausweiten. Zwar steigt dann auch die Inflation. Aber die Inflation in einem Land mit einem großen Binnensektor kann volkswirtschaftlich etwas anderes bedeuten als in einem Land mit einem großen Exportsektor. Es kann also durchaus sinnvoll sein, wenn die Notenbanken in binnenorientierten Volkswirtschaften eine höhere Inflation zulassen.

Die gemeinsame Währung ist auch problematisch, wenn es um die Bewertung der Leistungsbilanz von binnen- und exportorientierten Ländern geht: Ökonomen sprechen von einer negativen Handelsbilanz, wenn eine Volkswirtschaft Waren und Dienstleistungen in einem höheren Wert aus dem Ausland bezieht, als sie dorthin verkauft. Im umgekehrten Fall ist von einer positiven Handelsbilanz die Rede. Die Handelsbilanz macht den größten Anteil der Leistungsbilanz aus. Vor dem Start der Gemeinschaftswährung kann-

» Um das wirtschaftliche Gefälle in der Eurozone zu verringern, wären immense Summen notwendig. Es macht keinen Sinn, den Euro für alle beizubehalten.

ten Ungleichgewichte in der Leistungsbilanz zwischen EU-Mitgliedsländern durch Auf- und Abwertung der jeweiligen nationalen Währungen ausgeglichen werden.

IN GRIECHENLAND SANKEN DIE LÖHNE UM EIN VIERTEL

Seit es nur noch eine Währung gibt, kann die Anpassung lediglich durch eine interne Abwertung erfolgen. Darunter verstehen Ökonomen eine Senkung der Preise und Löhne, um die Wettbewerbsfähigkeit einer Volkswirtschaft zu verbessern. In besonders großem Ausmaß erfolgte eine interne Abwertung während der Finanzkrise in hoch verschuldeten Euro-Mitgliedsländern – auch auf gehörigen Druck der sogenannten Troika, also der EU-Kommission, der Europäischen Zentralbank und des Internationalen Währungsfonds.

Praktisch geht es vor allem um Lohnkosten und Lohnnebenkosten. In Griechenland sanken die Bruttolöhne etwa um ein Viertel, das Tarifsysteem erodierte, und viele Beschäftigte erhalten heute nur noch den Mindestlohn. Durch diese sogenannte Austeritätspolitik sollen die Unternehmen einer Volkswirtschaft gegenüber den Konkurrenten aus anderen Volkswirtschaften wettbewerbsfähiger werden. Aber was für ein exportorientiertes Land die richtige Wirtschaftspolitik sein mag, kann sich kontraproduktiv für binnenorientierte Volkswirtschaften auswirken, wie ein Blick in die Krisenländer zeigt. Zwar sind deren Leistungsbilanzdefizite gesunken ebenso wie der Lohnanteil, und die Exporte wachsen schneller als das Bruttoinlandsprodukt – insofern ist die Strategie aufgegangen. Aber die Beschäftigung in den Krisenländern ist niedriger und die Staatsverschuldung wesentlich

höher als vor der Krise. Dazu kommt, dass die ohnehin großen deutschen Exportüberschüsse noch weiter zugenommen haben, weil der Euro gegenüber dem Rest der Welt unterbewertet ist.

„Die Lücke bei der internationalen Wettbewerbsfähigkeit zwischen Nord- und Südländern in der EU besteht fort und könnte nur geschlossen werden, wenn die Austeritätspolitik nochmals forciert würde“, sagt Scharpf. Entsprechend müssten die Preise und Löhne in den Krisenländern noch stärker sinken als bisher. Das hält der Forscher aber für „politisch ausgeschlossen“.

Schon jetzt sind durch die Austeritätspolitik in vielen EU-Ländern die Gewerkschaften geschwächt worden, etwa durch die Verlagerung von Lohnentscheidungen in die Betriebe. Lokale Betriebsräte sind in einer schlechteren Verhandlungsposition als Gewerkschaften, die für ganze Branchen Tarifverträge abschließen. Geschwächt wurden auch Bildungs-, Gesundheits- oder Rentensysteme. All das bleibt nicht folgenlos. „Bestimmte Arten von sozialer Ordnung sind schwer zu erschaffen und leicht zu zerstören“, sagt Höpner: „Liberalisierungspolitik bringt oft unwiderfällige Ergebnisse hervor.“

Welche politischen Schlüsse ziehen die Kölner Forscher nun aus ihren Erkenntnissen? Theoretisch könnte das wirtschaftliche Gefälle in der Eurozone durch Transfers zwischen reicheren und ärmeren Ländern vermindert werden, so wie es in Deutschland durch den Länderfinanzausgleich erfolgt. Dafür wären immense Summen notwendig, was die Geberländer überfordern dürfte. Aber die Max-Planck-Wissenschaftler halten das mit Blick auf die großen strukturellen Unterschiede sowieso für höchst unwahrscheinlich. Mehr Inflation im Norden würde die Ökonomien



Aktiver Emeritus: Fritz Scharpf war von 1986 bis 2003 Direktor am Max-Planck-Institut für Gesellschaftsforschung und arbeitet weiterhin an europapolitischen Themen.



Politikwissenschaftler mit Wirtschaftsfokus: Martin Höpner leitet die Max-Planck-Forschungsgruppe zum Thema „Politische Ökonomie der europäischen Integration“.

des Südens entlasten, weil sich die Preisverzerrungen in der Eurozone dann wieder angleichen würden. Aber das ist leichter gesagt als getan: Höhere Inflation lässt sich gegen den Willen der Beteiligten nicht anordnen. Dann könnte die Eurozone jedoch nur durch eine weitere Austeritätspolitik zusammengehalten werden, was erheblichen Unfrieden unter den betroffenen Bürgern stiften würde.

„Den Euro für alle beizubehalten, macht keinen Sinn“, sagt Höpner. Er hielte es für klug, einen Mechanismus in der Eurozone einzubauen, der es Staaten ermöglicht, aus der gemeinsamen Währung aus- und auch wieder einzusteigen. Für eine solche Reform sieht er aber ebenfalls erhebliche Hürden. Die Angst vor den Folgen der Auflösung des Euro sei groß, ebenso die Identifikation des Euro mit einer pro-europäischen Einstellung, wie sie Bundeskanzlerin Angela Merkel auf den Punkt brachte, als sie im Bundestag sagte: „Scheitert der Euro, dann scheitert Europa.“ Für Höpner ist die „emotionale oder ideologische Identifikation des Euro mit Europa ein Teil des Problems, eine notwendige Korrektur der Währungsunion wird damit verhindert.“ Die Quintessenz der Forscher: Man sollte die Ambitionen für die EU herunterschrauben. So entstünden zwar

keine Vereinigten Staaten von Europa, aber womöglich ein besser funktionierender Staatenverbund.

Die Chance für einen europäischen Sozialstaat halten die Wissenschaftler ohnehin für „gleich null“. Ein europäi-

scher Sozialstaat, der gleichzeitig für Bulgarien und Dänemark passe? „Das kann man sich doch nicht einmal mehr in der Theorie vorstellen“, sagt Höpner. Trotzdem sehen Scharpf und Höpner reelle Chancen für soziale Fortschritte, etwa Angebote der EU an ärmere Mitgliedsländer, mit denen diese ihre soziale Grundversorgung ausbauen könnten. Sinnvoll wären freiwillige Angebote, welche die Länder eigentlich aufgrund des hohen Nutzens für ihre Bürger gar nicht ablehnen können, sagt Höpner.

Solch nüchterne Sichtweisen begeistern weniger als der Traum von den Vereinigten Staaten von Europa, aber sie bieten vielleicht die besseren Chancen, allen strukturellen Unterschieden der Länder zum Trotz in der EU echte politische Fortschritte zu erzielen. ◀

 www.mpg.de/podcasts/europa

AUF DEN PUNKT GEBRACHT

- Zwischen den Ländern der Europäischen Union gibt es erhebliche Unterschiede in der wirtschaftlichen Struktur und Leistungsfähigkeit.
- Die dadurch verursachten Interessengegensätze machen eine Einigung in manchen Bereichen nahezu unmöglich, etwa wenn es um eine gemeinsame Steuerpolitik oder um EU-weite Sozialstandards geht.
- Auch in der Eurozone gibt es deutliche Differenzen: Je nachdem, ob die Wirtschaft eines Land eher auf den Binnenmarkt oder auf Export ausgerichtet ist, können politische Maßnahmen – etwa zugunsten einer niedrigen Inflation oder zur Lohnkostensenkung – negative oder positive Wirkung entfalten.
- Die EU sollte bei ihrer Zielsetzung die Heterogenität ihrer Mitglieder stärker berücksichtigen. Zudem bräuchte es für die Euroländer eine Möglichkeit, zeitweise aus der gemeinsamen Währung auszusteigen.

GLOSSAR

Austeritätspolitik zielt darauf ab, dass ein Staat während eines wirtschaftlichen Abschwungs versucht, Ausgaben zu kürzen und das Land durch niedrige Lohn- und Lohnnebenkosten für Investoren attraktiv zu machen.

In der **Handelsbilanz** einer Volkswirtschaft werden alle Exporte und Importe an Waren und Dienstleistungen innerhalb eines bestimmten Zeitraums rechnerisch gegenübergestellt. Ist die Summe der Exporte höher als die der Importe, so spricht man von einer positiven Handelsbilanz.

Die **Leistungsbilanz** umfasst neben der Handelsbilanz auch Überweisungen in das und aus dem Ausland sowie die Nettoeinkommen der Einwohner.

WOMEN IN SCIENCE



Apply for the
LISE MEITNER
EXCELLENCE PROGRAM

TOP OFFER FOR TOP SCIENTISTS:

The Max Planck Society **promotes excellent female scientists** at an early stage of their scientific career by offering them a **well-resourced Lise Meitner Group** at a suitable Max Planck Institute.

From February

to **15th**
March,
2019

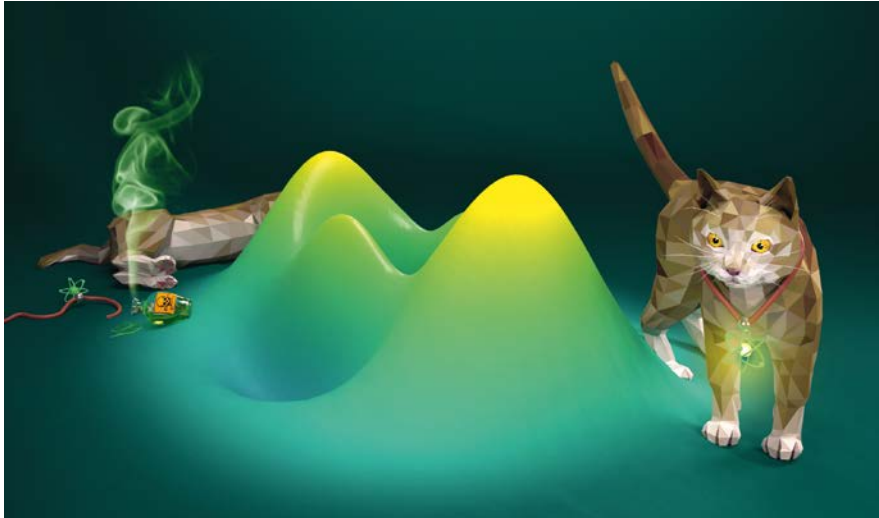


More information
can be found
on our website at

www.mpg.de/lise-meitner-excellence-program

Fliegende optische Katzen

Ein verschränkter Atom-Licht-Zustand eröffnet neue Perspektiven für die Quantenkommunikation



Gleichzeitig tot und lebendig: Schrödingers Katze wird mit einem Atom verschränkt. Ist das Atom angeregt, so lebt die Katze. Ist es zerfallen, ist die Katze tot. In einem Experiment bildet ein Lichtpuls einen solchen Überlagerungszustand, dargestellt durch das Pulsprofil in der Mitte.

ließ. Doch in dieser Variante des Versuchs übernahm ein Lichtpuls die Rolle der Katze. Das Lichtsignal ließen die Forscher mit einem Atom in einem Resonator, einem winzigen Hohlraum zwischen zwei Spiegeln, wechselwirken, nachdem sie das Atom in zwei gleichzeitig existierende physikalische Zustände gebracht hatten. Durch die Wechselwirkung bringen sie auch das Licht in einen solchen Zustand. Mit weiteren optischen Operationen bewir-

Das Leben einer Katze haben die Forscher nicht aufs Spiel gesetzt. Ein Team um Gerhard Rempe, Direktor am Max-Planck-Institut für Quantenoptik in Garching, realisierte im Labor zwar ein paradoxes Gedankenexperiment des Quantenphysikers Erwin Schrödinger, der eine Katze in einem Überlagerungszustand gleichzeitig tot und lebendig sein

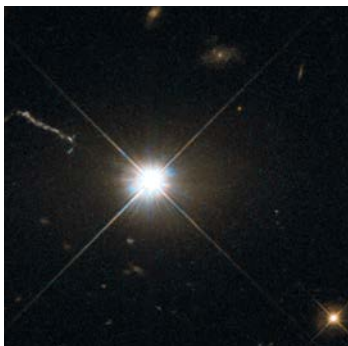
ken sie schließlich, dass der Lichtpuls unabhängig vom Atom in einem Überlagerungszustand wie demjenigen von Schrödingers Katze weiterfliegt. Da sich mit solchen optischen Überlagerungszuständen Quanteninformation codieren lässt, erweitert das Experiment die Möglichkeiten der Quantenkommunikation. (www.mpg.de/12647341)

Im Strudel eines schwarzen Lochs

Quasare sind die turbulenten Kerne von Galaxien, in denen massereiche schwarze Löcher stecken. In diesen kosmischen Kraftwerken wird Gravitationsenergie in Hitze umgewandelt, wenn Materie auf das zentrale schwarze Loch fällt. Das Gas leuchtet dabei so hell, dass es die ganze Galaxie überstrahlt und noch in einer Entfernung von Milliarden Lichtjahren sichtbar ist. Wegen dieser Helligkeit lassen sich die aktiven schwarzen Löcher nur schwer vermessen, denn man sieht die Sterne nicht mehr, aus deren Umlaufbahnen man sonst die Zentralmasse berechnen könnte. Mit dem Instrument Gravity am Very Large Telescope der Europäischen Südsternwarte hingegen haben Astronomen, auch aus dem Max-Planck-

Institut für extraterrestrische Physik, tief ins Herz des Quasars 3C 273 geblickt und aus der wirbelnden Bewegung der Gaswolken um das schwarze Loch zum ersten Mal präzise dessen Masse bestimmt. Mit der gemessenen Entfernung der Wolken zum Zentrum von 150 Lichttagen und deren Umlaufgeschwindigkeit ergab sich ein Wert von 300 Millionen Sonnenmassen. (www.mpg.de/12543965)

Kraftwerk im All: Der Quasar 3C 273 befindet sich in einer riesigen elliptischen Galaxie im Sternbild Jungfrau, etwa 2,5 Milliarden Lichtjahre von der Erde entfernt. Er war der erste Quasar, der jemals als solcher erkannt wurde.



Wer am häufigsten lügt

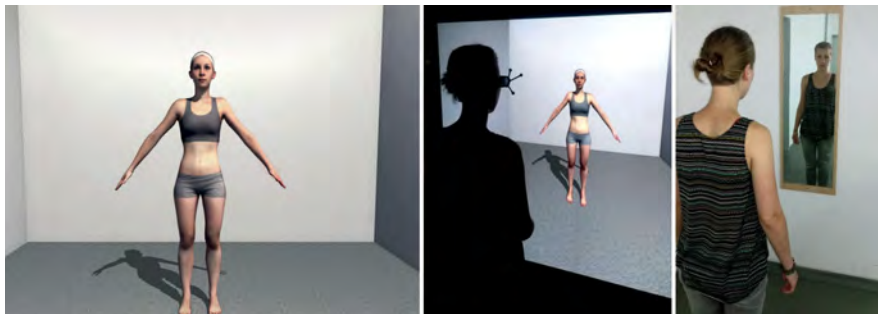
Metaanalyse fasst 565 Studien zur Psychologie der Unehrllichkeit zusammen

Schon lange versucht die Forschung mithilfe experimenteller Studien herauszufinden, welche persönlichen und umweltbedingten Faktoren Menschen zu Lügern machen. Wissenschaftler des Max-Planck-Instituts für Bildungsforschung haben nun gemeinsam mit israelischen Kollegen in einer umfangreichen Metaanalyse die Erkenntnisse aus 565 Studien zusammengefasst. Die Vermutung, dass Männer häufiger lügen als Frauen,

Untergewicht als Ideal

Magersucht-Patientinnen finden extrem schlanke Körper attraktiver

Wissenschaftler setzen immer mehr auf den Einsatz virtueller Realität, um zu erforschen, wie Menschen ihren Körper wahrnehmen. Die Forscher scannen den Körper von Versuchspersonen ein und erstellen mit modernsten Computertechniken eine digitale Kopie. Dieser Ansatz ist realitätsgetreuer als beispielsweise das Stauchen oder Strecken von Fotos, um damit Schwankungen des Körpergewichts zu simulieren. Mit der neuen Technik haben Forscher an den Max-Planck-Instituten für biologische Kybernetik und für Intelligente Systeme die Körperwahrnehmung von über 100 Menschen mit Essstörungen untersucht. Die Testpersonen sollten ihre Avatare mit einem Joypad so lang verändern, bis das Gewicht des virtuellen Alter Egos ihrem eigenen wahrgenommenen Gewicht entsprach. Das Ergebnis: Patientinnen mit Magersucht schätzen ihr Gewicht genauso treffsicher ein wie gesunde Frauen. Bislang deuteten viele Studien darauf hin, dass magersüchtige Frauen an einer verzerrten visuellen Selbstwahrnehmung leiden und sich selbst als zu dick wahrnehmen, obwohl sie in der Regel stark untergewichtig sind. Die Forscher haben auch



Personalisierter Avatar einer Versuchsteilnehmerin. Magersüchtige Patientinnen stellen das Gewicht des Avatars genauso treffsicher auf ihr reales Körpergewicht ein wie gesunde Frauen. Anders als diese empfinden sie jedoch stark untergewichtige Körper als schön.

untersucht, welches Körpergewicht die Teilnehmer für wünschenswert halten. Frauen mit Magersucht betrachteten stark untergewichtige Körper als ideal. So empfinden sie beispielsweise ein Gewicht von 43 Kilogramm bei einer Körpergröße von 1,60 Metern als schön. Die Tatsache, dass Frauen mit Magersucht eine andere Meinung darüber haben, welches Gewicht wünschenswert ist, sollte den Forschern zufolge bei zukünftigen Therapien für Menschen mit Essstörungen im Vordergrund stehen. (www.mpg.de/12323568)

Fotos und Grafik: MPI für biologische Kybernetik/A. Thaler (oben), Adobe Stock (unten)

ließ sich bestätigen – allerdings ist der Unterschied mit 42 Prozent Lügnern unter den Männern und 38 Prozent unter den Frauen nur gering. Eindeutig ist, dass jüngere Menschen häufiger unehrlich sind als ältere: Die Wahrscheinlichkeit, dass jemand lügt, beträgt bei 20-Jährigen etwa 47 Prozent und sinkt bis zum Alter von 60 Jahren auf 36 Prozent. Die Ergebnisse zeigen jedoch auch, dass der Versuchsaufbau das Verhalten der Probanden beeinflussen kann. Menschen sind also nicht per se ehrlich oder unehrlich, sondern ihr Verhalten hängt auch von den Gegebenheiten ab. Dies sollten zukünftige Studien berücksichtigen. (www.mpg.de/12633873)

Geckos laufen übers Wasser

Beim Laufen haben Geckos außergewöhnliche Fähigkeiten entwickelt. Viele können sich etwa dank feinsten Härchen kopfüber über eine Glasplatte bewegen. Und manche mittelgroße Arten gehen sogar über Wasser, wie Forscher um Ardian Jusufi am Max-Planck-Institut für Intelligente Systeme in Stuttgart festgestellt haben. Um dabei nicht unterzugehen, bedienen sich Echsen mit einem Gewicht von rund sechs Gramm, also etwa dem Gewicht eines Papierblattes, offenbar verschiedener Techniken. So nutzen die Reptilien wie manche Insekten die Oberflächenspannung des Wassers aus. Dadurch allein können sie sich jedoch nicht über Wasser halten, weil sie zu schwer sind. Deshalb schlagen sie wie startende Enten und Schwä-

ne mit ihren Füßen schnell auf das Wasser und erzeugen so Luftkissen, die sie tragen. Außerdem ermöglicht es ihnen ihre wasserabweisende Haut offenbar, auf dem Wasser zu gleiten. Schließlich verschaffen sie sich mit wellenförmigen Bewegungen des Schwanzes Vor- und Auftrieb. Die Erkenntnisse über den Wasserlauf der Geckos wollen die Forscher nutzen, um Roboter mit ähnlichen Fähigkeiten zu entwickeln. (www.mpg.de/0120192)



Geckos mittlerer Größe können sich nicht allein auf die Oberflächenspannung verlassen, um sich über Wasser zu halten.

Griff in die psychologische Trickkiste

Die Bereitschaft von Männern und Frauen, sich Wettbewerben zu stellen, lässt sich angleichen



Ungleiche Chancen: Frauen sind in der Regel weniger bereit als Männer, sich der Konkurrenz zu stellen. Mithilfe von Priming, einer psychologischen Methode, lässt sich das Verhalten der Geschlechter angleichen.

Teil der Probanden blieb unvorbereitet. Als sich alle Teilnehmer dann einer Wettbewerbssituation stellen sollten, waren in der neutralen Gruppe 40 Prozent der Männer, aber nur 14 Prozent der Frauen dazu bereit. Das Priming änderte vor allem das Verhalten der Männer: Nur noch 28 Prozent von ihnen stellten sich der Konkurrenz. Bei Frauen entschieden sich dagegen mit 20 Prozent etwas mehr für die Wettbewerbssituation. Die Erinnerung an eine einflussreiche Situation ermöglicht offenbar – unabhängig vom Geschlecht – eine realistische Einschätzung der eigenen Fähigkeiten. Anwendungsmöglichkeiten sieht das Forschungsteam im Schulsystem und in der beruflichen Bildung. (www.mpg.de/12369488)

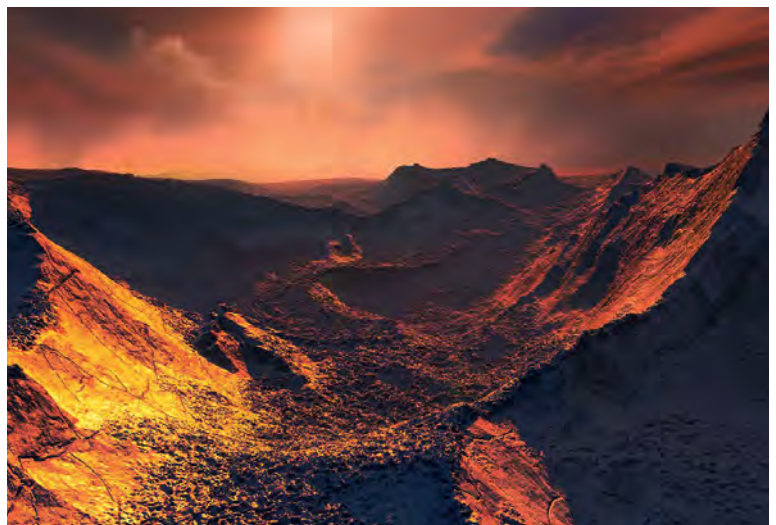
Im Konkurrenzdenken gibt es deutliche Unterschiede zwischen Männern und Frauen – ein wesentlicher Grund, weswegen Frauen im Arbeitsleben oft benachteiligt sind. Mit einem psychologischen Trick lässt sich diese Ungleichheit deutlich verringern, wie Matthias Sutter vom Max-Planck-Institut zur Erfor-

schung von Gemeinschaftsgütern gemeinsam mit österreichischen Kollegen gezeigt hat. In einem Test bekam ein Teil der Teilnehmer eine Vorbereitung in Form einer psychologischen Methode namens Priming. Dabei sollten sich die Betroffenen an ein Ereignis erinnern, bei dem sie Einfluss hatten. Ein anderer

Eine kalte Supererde in unserer Nachbarschaft

Der sechs Lichtjahre entfernte Barnards Stern beherbergt einen Exoplaneten

Eine internationale Gruppe von Astronomen, auch aus dem Max-Planck-Institut für Astronomie, hat beim nur sechs Lichtjahre entfernten Barnards Stern einen Planeten nachgewiesen, der gut dreimal so viel Masse wie die Erde aufweist und ähnlich kalt ist wie der Saturn. Die Entdeckung gelang über die Messung der periodischen Änderung der Radialgeschwindigkeit des Muttergestirns – der Bewegung, die der Stern ausführt, wenn der Planet an ihm zerrt. Dabei haben die Astronomen aus den 771 Einzelmessungen, die sie im Laufe von zwei Jahrzehnten gesammelt hatten, ein Signal entschlüsselt, das auf einen Planeten hindeutet. Dieser auf den Namen „Barnard's Star b“ getaufte Himmelskörper umläuft seinen Mutterstern einmal innerhalb von 233 Tagen in einem Abstand von rund 60 Millionen Kilometern. Mit einer Temperatur von etwa minus 170 Grad Celsius ist er wahrscheinlich eine lebensfeindliche, eisige Wüste, in der es kein flüssiges Wasser gibt. (www.mpg.de/12484657)



Fremde Welt: Diese Illustration zeigt die Oberfläche des Planeten „Barnard's Star b“.

Die Werkzeugmacher unter den Vögeln

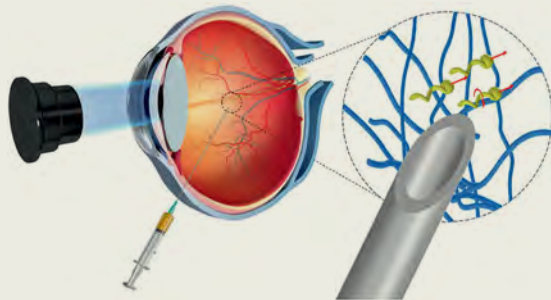
Geradschnabelkrähen bauen Einzelteile zu einer funktionierenden Greifhilfe zusammen

Der Gebrauch von Werkzeugen schien lange ausschließlich dem Menschen vorbehalten. Heute weiß man, dass Werkzeuge im Tierreich weit verbreitet sind. Allerdings schienen nur Menschen und Menschenaffen kompliziertere, aus mehreren Komponenten bestehende Gegenstände zu verwenden. Offensichtlich gehören aber auch Krähen zu diesem illustren Kreis. Wissenschaftler des Max-Planck-Instituts für Ornithologie in Seewiesen und der Universität Oxford haben herausgefunden, dass Geradschnabelkrähen zusammengesetz-

te Werkzeuge herstellen, um an Futter außer Reichweite zu gelangen. In einem Experiment boten sie den Vögeln einen außer Reichweite liegenden Leckerbissen an sowie mehrere, für sich allein zu kurze Stäbe. Ohne fremde Hilfe und voriges Training fügten die Krähen die kurzen Stücke zu einem ausreichend langen Stab zusammen. Einer der Vögel bastelte sogar Werkzeuge aus drei und vier Einzelteilen. Die Ergebnisse zeigen, dass die Krähen wie nur wenige andere Tiere flexibel auf neuartige Probleme reagieren können. (www.mpg.de/12398420)



Geradschnabelkrähen stammen aus Neukaledonien im südlichen Pazifik. Die äußerst intelligenten Vögel können bei Bedarf mehrere Elemente zu einem funktionstüchtigen Werkzeug zusammensetzen.



Korkenzieherförmige Nanoroboter werden in den Glaskörper eines Auges injiziert und mit einem äußeren Magnetfeld zur Netzhaut dirigiert.

Nanoroboter gehen ins Auge

Direkt an der Netzhaut könnten Nanoroboter künftig medizinische Aufgaben übernehmen. Ein Schritt hin zu diesem Ziel gelang einem Team um Peer Fischer, Wissenschaftler am Max-Planck-Institut für Intelligente Systeme. Die Forscher haben einen korkenzieherförmigen Nanopropeller durch den Glaskörper eines seziierten Schweineauges gesteuert. In den Propeller aus Siliciumdioxid hatten sie Eisenpartikel eingebaut, um das Gefährt mit Magnetfeldern von außen aktiv bewegen zu können. Mit einer sowohl wasser- als auch fettabweisenden Beschichtung sorgten sie dafür, dass der Propeller durch die gelartige Substanz des Glaskörpers schlüpfte. Solche Nanovehikel könnten an der Netzhaut medizinische Wirkstoffe abliefern oder kleinere Operationen vornehmen. (www.mpg.de/0120193)

Symbiose der Totengräber

Die Käfer verwandeln Kadaver mithilfe von Mikroorganismen in gesunde Kinderstuben

Totengräber-Käfer vergraben die Kadaver kleiner Tiere in der Erde, um sie als Futterquelle für ihren Nachwuchs zu nutzen. Die Kinderstube zersetzt sich jedoch mit der Zeit immer mehr. Die dabei entstehenden Giftstoffe, Krankheitserreger sowie der Verlust von Nährstoffen sind eine Bedrohung für die Käferlarven. Wissenschaftlern des Max-Planck-Instituts für chemische Ökologie in Jena zufolge ersetzen die Käfer daher schädliche Mikroorganismen mit nützlichen Mikroben aus ihrem eigenen Darm. Symbiotische Hefepilze aus dem Darm der Käfer verdrängen so die Schimmelpilze aus dem Boden, die normalerweise einen Kadaver schnell überwachsen. Auf diese Weise sorgen die Käfereltern dafür, dass sich ihr Nachwuchs in dem toten Körper wohlfühlt und dort bestens gedeiht. In Kadavern ohne Mikroben aus der Darmflora der Eltern bleiben die Larven hingegen deutlich kleiner. Der Totengräber ist somit ein weiteres Beispiel dafür, wie Insekten mithilfe symbiotischer Mikroorganismen schwierige Ressourcen nutzen können. (www.mpg.de/12358199)



Ein Totengräberpaar der Art *Nicrophorus vespilloides* versorgt seine Jungen in einer toten Maus. Die Käfer haben den Kadaver mit Mikroorganismen aus ihrem Darm konserviert.

Das Grab der Buchmalerin

Blaue Farbspuren im Zahnstein liefern erstmals klare Hinweise auf die Beteiligung von Frauen an der Buchmalerei



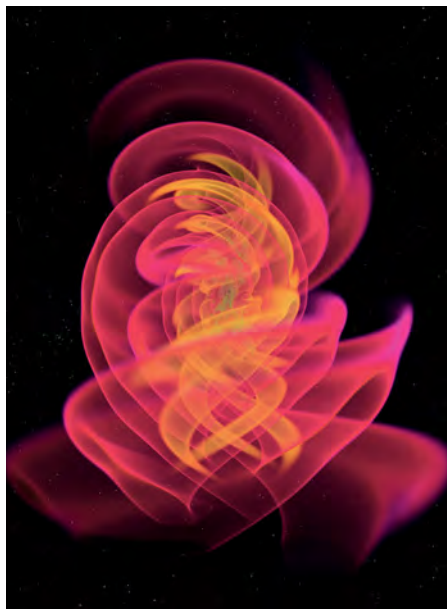
Unscheinbarer Fundort: In Dalheim nahe Paderborn lebte im Mittelalter eine religiöse Gemeinschaft von Frauen. Mindestens eine von ihnen illustrierte wertvolle Manuskripte – eine Tätigkeit, die bisher nur Männern zugeschrieben wurde.

Deutschland war im Mittelalter ein Zentrum der Buchproduktion. Als Zeichen der Frömmigkeit signierten viele mittelalterliche Schreiber und Buchmaler ihre Werke nicht – wohl ein Grund, weswegen die Buchmalerei lange Zeit allein Männern zugeschrieben wurde. Ein internationales Forschungsteam unter wesentlicher Beteiligung des Max-Planck-Instituts für Menschheitsgeschichte hat nun die Rolle von Frauen in diesem Metier erhellt. Das Team stieß im Zahnstein einer Frau, die um das Jahr 1000 nach Christus bei einem kleinen Frauenkloster in der Nähe von Paderborn begraben wurde, auf Lapislazuli-Pigmente. Die kostbare blaue Farbe wurde ebenso wie Gold und Silber ausschließlich zur Illustration der wertvollsten Handschriften verwendet. Nur wer über herausragende Fähigkeiten verfügte, durfte sie benutzen. Anhand der Verteilung der Farbteilchen im Mund kamen die Forscher zu dem Schluss, dass die Frau wohl selbst mit Lapislazuli malte und die Pinselspitze beim Arbeiten immer wieder anleckte. (www.mpg.de/12627185)

Vier neue Quellen von Gravitationswellen

Die Observatorien LIGO und Virgo veröffentlichen außerdem ihren ersten Katalog

Wissenschaftler haben früher aufgezeichnete Daten der Gravitationswellendetektoren LIGO und Virgo genauer durchforstet und dabei vier neue Signale aufgespürt. Sie stammen alle aus der Verschmelzung von Paaren schwarzer Löcher, wobei aus einem Teil der Masse Energie frei wird und die Raumzeit kräuselt. Die Massen der schwarzen Löcher umfassen ein breites Spektrum, das von 7,6 bis 50,6 Sonnenmassen reicht. Hinter einem der neu entdeckten Ereignisse – GW170729 genannt – steckt die gewichtigste und am weitesten entfernte Quelle von Gravitationswellen, die man bisher beobachtet hat: In dieser Verschmelzung, die vor etwa fünf Milliarden Jahren stattfand, wurden fast fünf Sonnenmassen in Gravitationswellen umgewandelt. Gleichzeitig



mit der Bekanntgabe der neuen Ergebnisse legten die Wissenschaftler einen Katalog aller derzeit bekannten Gravitationswellen und Kandidatenereignisse der beiden ersten Beobachtungsläufe O1 und O2 vor. Beschrieben werden darin die Eigenschaften der Population verschmelzender schwarzer Löcher im Universum. Bis heute sind den Astronomen elf Signale ins Netz gegangen. Eines davon stammt nicht von schwarzen Löchern, sondern aus der Kollision zweier Neutronensterne. (www.mpg.de/12550774)

Der Raum bebzt: Diese numerisch-relativistische Simulation gibt die erste beobachtete Verschmelzung zweier schwarzer Löcher wieder, welche die Advanced LIGO-Detektoren am 14. September 2015 gemessen haben.

Ansprechende Kunst wirkt nach

Gemälde können Reaktionen in Hirnarealen auslösen, die normalerweise der Reflexion dienen

Mithilfe von Messungen der Hirnaktivität hat ein Forscherteam unter Beteiligung des Max-Planck-Instituts für empirische Ästhetik untersucht, wie unser Gehirn reagiert, wenn wir Kunstwerke anschauen. Kognitionsforscher erwarteten, dass beim Betrachten von Bildern vor allem sensorische Gehirnregionen aktiv sind, da der Fokus ja auf der Außenwelt liegt. Gleichzeitig sollte die



Aktivität von Hirnarealen sinken, die reflektierende Prozesse unterstützen. Doch die Forscher beobachteten, dass ästhetisch ansprechende Bilder bei den Betrachtern das sogenannte „Default Mode Network“ aktivierten – ein Areal im Gehirn, mit dem wir unabhängig von äußeren Reizen denken können, etwa in Form von Tagträumen oder Zukunftsplänen. Sahen die Probanden ein Kunstwerk, das sie nicht attraktiv fanden, zeigte sich dieser Effekt jedoch nicht. Ästhetisch ansprechende Kunstwerke – und nur diese – aktivieren also einen außergewöhnlichen Prozess im Gehirn, der sowohl äußere Reize als auch mentale und emotionale Reaktionen verarbeitet. (www.mpg.de/12625434)

Eindrucksvoll: Das Gemälde „Sternennacht“ des niederländischen Künstlers Vincent van Gogh regt auch 130 Jahre nach seiner Entstehung viele Menschen zum Nachdenken an.

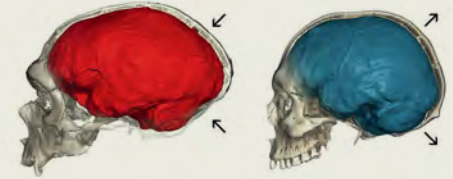
Es ist ein Tier!

Organische Spuren in über 550 Millionen Jahre alten Fossilien erlauben die Zuordnung des urzeitlichen Lebewesens Dickinsonia

Dickinsonia war eine ungewöhnliche Kreatur. Die Vertreter dieser Gattung tummelten sich vermutlich bis etwa 550 Millionen Jahre vor unserer Zeit auf dem Meeresboden, wurden bis zu 1,40 Meter groß und ähneln keinem heute lebenden Organismus. Ob es sich bei dem Lebewesen um eine Flechte, eine ausgestorbene Form großer Einzeller oder eben das älteste bekannte Tier handelt, war bislang offen. Geklärt hat die Frage nun ein internationales Team, an dem Wissenschaftler des Max-Planck-Instituts für Biogeochemie beteiligt waren. Die Forscher ordneten Dickinsonia ein, indem sie

Ein Tier ohne moderne Verwandte: Dickinsonia, dessen Fossilien etwa im Weißen Meer in Russland gefunden wurden, ähnelt keinem heutigen Lebewesen.

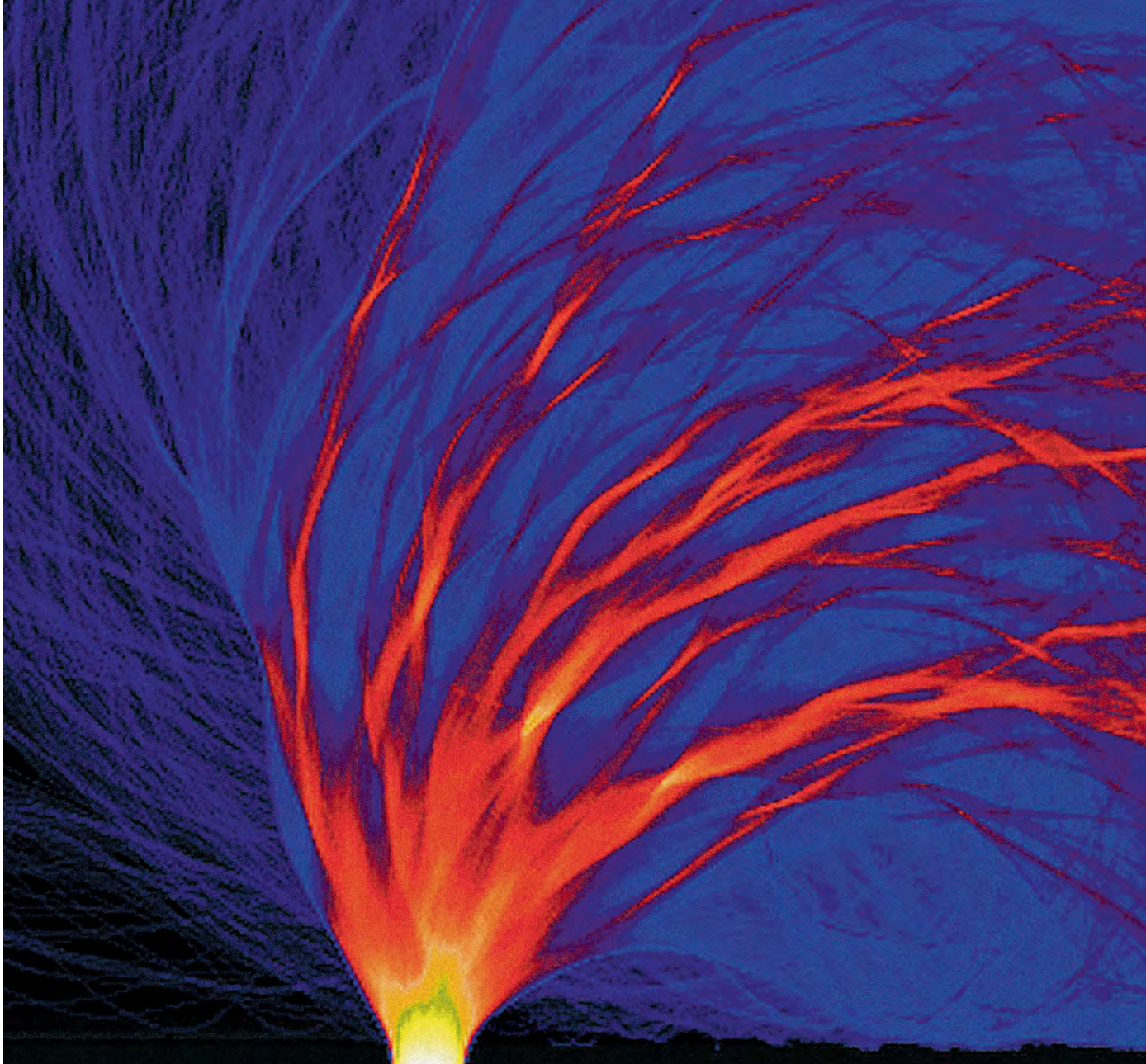
organische Spuren aus 558 Millionen Jahre alten Fossilien analysierten. Demnach handelt es sich bei den Substanzen um Überreste von Cholesterinmolekülen, die typisch für Tiere sind. Dickinsonia sind damit die ältesten bekannten Tiere. (www.mpg.de/0120191)



Schädel von Neandertaler (links) mit typischer länglicher Gehirngestalt (rot) und modernem Menschen (rechts) mit rundlichem Gehirn (blau). Die Pfeile zeigen die vergrößerte hintere Schädelgrube, in der das Kleinhirn sitzt, und die Aufwölbung der Parietalknochen beim modernen Menschen.

Neandertaler-Gene bringen das Gehirn in Form

Ein typisches Merkmal des modernen Menschen ist seine im Vergleich zu anderen Menschenformen ungewöhnlich runde Kopfform. Ein internationales Forscherteam mit Wissenschaftlern der Max-Planck-Institute für evolutionäre Anthropologie und für Psycholinguistik hat nun Gene entdeckt, die Einfluss auf die Gestalt des Gehirns und damit die Schädelform heutiger Menschen haben. Die Forscher haben Schädel von Neandertalern und heute lebenden Menschen im MRT analysiert und virtuelle Abdrücke des Schädellinneren erstellt. Die Abdrücke spiegeln die Gehirnform, nicht aber die geistigen Fähigkeiten wider. Nicht nur Neandertaler und moderne Menschen weisen den Analysen zufolge deutlich andere Gehirn- und damit Schädelformen auf – auch die Schädel heute lebender Menschen unterscheiden sich untereinander teils erheblich. Eine Erbgutanalyse ergab, dass Menschen mit länglicheren Schädeln auf den Chromosomen 1 und 18 Neandertaler-DNA tragen. Diese Fragmente verändern die Aktivität zweier Gene, die an der Gehirnentwicklung und der Bildung von Nervenzellen beteiligt sind. Die beiden Gene sind wahrscheinlich nicht die einzigen, die die Gestalt des Gehirns beeinflussen. Vielmehr ergibt sich diese aus der kombinierten Wirkung vieler verschiedener genetischer Varianten. (www.mpg.de/12561113)



Atome schlagen Wellen

Für **Ragnar Fleischmann** war es eine überraschende Entdeckung: Was er in Simulationen beobachtete, die den Elektronenfluss in Halbleitern wiedergeben, ähnelte dem Verhalten von Tsunamis und Kaventsmännern auf offener See. Heute erforscht sein Team am Göttinger **Max-Planck-Institut für Dynamik und Selbstorganisation** elektronische Prozesse, um so möglicherweise auch einmal die Vorhersagen der zerstörerischen Wellen zu verbessern.

TEXT **KLAUS JACOB**



Ein Modell für Monsterwellen: Göttinger Max-Planck-Forscher simulieren die Flussverästelungen von Elektronen, die in einem Halbleitersystem von einem Kontakt (links, hellgelb) zu einem zweiten (rechts, hellrot) strömen. Daraus lernen sie auch etwas über die Entstehung der von Seeleuten gefürchteten Kaventsmäner.

Wie gefährlich ein Tsunami sein kann, weiß man spätestens seit den Weihnachtstagen 2004. Damals löste ein starkes Erdbeben vor der indonesischen Küste eine Welle aus, die um die halbe Welt raste und mehr als 200 000 Menschen tötete. Stundenlang war das Monster unterwegs, ehe es an weit entfernten Küsten zuschlug. Noch nach Tausenden Kilometern Weg riss es ahnungslose Strandurlauber in den Tod.

Seitdem haben deutsche Wissenschaftler im Indischen Ozean ein Frühwarnsystem installiert. Es beruht darauf, dass Erdbebenwellen wesentlich schneller durchs Gestein laufen als Wasserwellen über den Ozean. Oft blei-

ben mehrere Stunden zur Warnung. Die seismischen Wellen liefern den Wissenschaftlern nicht nur die Stärke des Erdbebens, sondern auch das Epizentrum, also den Ort, an dem sich die Welle in Bewegung setzt. Eine Software modelliert daraufhin den Verlauf, den der Tsunami nehmen wird, und berechnet, wann an den verschiedenen Küsten mit dem Eintreffen zu rechnen ist. Dann werden die Menschen vor Ort mit Radio-durchsagen, Sirenen oder anderen Signalen gewarnt.

Doch die Modellierung des Wellenverlaufs kann trügerisch sein, das haben Ragnar Fleischmann und seine Mitarbeiter vom Max-Planck-Institut für Dynamik und Selbstorganisation in Göttingen nachgewiesen. Nach ihren

Berechnungen sind die Monsterwellen sogar noch tückischer als bisher angenommen. Um das zu verstehen, muss man den großen Ozean zunächst verlassen und sich winzigen Nanostrukturen zuwenden, die nur mit sehr empfindlichen Techniken wie atomaren Rastermikroskopen zugänglich sind.

FOLGENREICHE ENTDECKUNG IN HALBLEITERSYSTEMEN

Denn Fleischmann ist kein Ozeanforscher, er beschäftigt sich als theoretischer Physiker vor allem mit komplexer Dynamik und Quantenphänomenen, etwa in elektronischen Halbleiterstrukturen. In solchen Systemen hat er vor 18 Jahren mit zwei Kollegen – er arbei-

tete damals als Postdoktorand bei dem Physiker Eric Heller in Harvard – eine Entdeckung mit weitreichenden Folgen gemacht. Sie suchten damals nach einer Erklärung für ein Experiment, das zwar wunderschöne Bilder lieferte, aber für Laien nur schwer zu verstehen ist: Es ging darum, wie sich Elektronen in einem zweidimensionalen elektrischen Leiter bewegen.

Ein solcher Leiter entsteht an der Grenzfläche zwischen zwei unterschiedlichen Halbleitern – einer Halbleiterheterostruktur. Elektronen werden dort in einer Potenzialfalle gefangen wie Wasser in einer Rinne. Ihre Bewegungsfreiheit ist somit auf zwei Dimensionen – entlang der Grenzfläche – beschränkt.

FREMDATOME ZWINGEN ELEKTRONEN AUF NEUE BAHNEN

Zwei winzige, auf die Oberfläche des Kristalls aufgebrachte Metallkontakte, die durch einen schmalen Schlitz voneinander getrennt sind, bildeten eine Engstelle, durch die sich die Elektronen zwingen mussten, einen sogenannten Quantenpunktkontakt. Da das verwendete Halbleitermaterial sehr rein war, erwarteten die Wissenschaftler, dass sich die Elektronen vom Quantenpunktkontakt fächerförmig in alle Richtungen ausbreiten würden, ähnlich wie das Licht einer Straßenlampe.

Denn eigentlich sollten die Teilchen freie Fahrt haben. Sie haben nur vernachlässigbare Hindernisse zu meistern: Der angrenzende Halbleiter ist zwar mit Fremdatomen dotiert, die Einfluss auf den Stromfluss haben. Allerdings liegen diese Störstellen relativ weit von der Grenzfläche entfernt, sodass sie die Elektronen nur unwesentlich aus ihrer Richtung ablenken und sich daher kaum bemerkbar machen sollten. So jedenfalls die Annahme.

Das Experiment ergab jedoch etwas ganz anderes. Das Bild, das ein atomares Rasterkraftmikroskop lieferte, zeigte, dass sich die Elektronen nicht gleichmäßig auffächerten, sondern in Filamenten



Foto: dpa



Foto: Ragnar Fleischmann

bündelten. Was die Forscher sahen, erinnerte eher an eine neuschwänzige Peitsche als an einen gleichmäßigen Lichtschein. „Wir befürchteten zunächst ein Scheitern des Messprinzips“, sagt Fleischmann. Doch die Methode funktionierte einwandfrei, wie er und seine Kollegen durch detaillierte Modellrechnungen zeigen konnten. Allerdings hatten Physiker den Einfluss der Fehlstellen erheblich unterschätzt. Obwohl die Fremdatome nicht auf der Grenzfläche zwischen den beiden Halbleitern lagen, zwangen sie die Elektronen auf neue Bahnen.

Gemeinsam bewirkten die vielen kleinen Störungen Fokussierungen, die zur Verästelung des Flusses führten, die die Forscher im Mikroskop beobachteten. Die Strukturen solcher Fokussierungen sind in der Wissenschaft schon lange bekannt. Experten sprechen von Kaustiken. Der Begriff stammt aus der Optik, wo er für bestimmte Abbildungsfehler von Linsen verwendet wird.

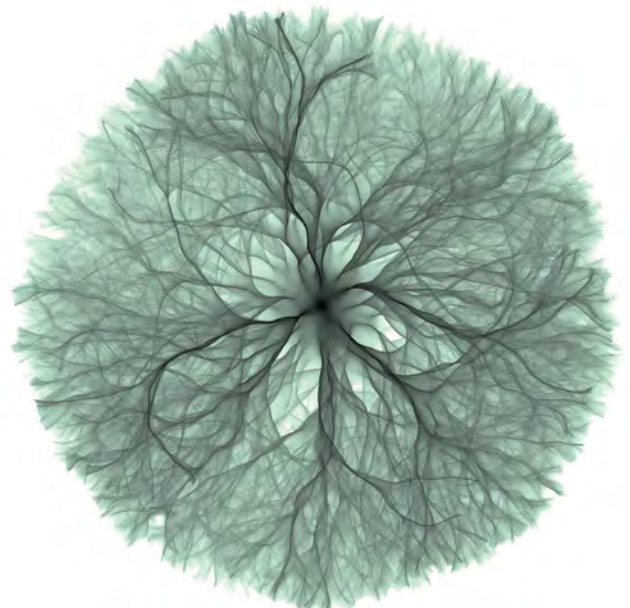
Kaustiken lassen sich im Alltag oft beobachten, etwa im Freibad: Wenn die

Sonne auf die Wasseroberfläche scheint, sieht man am Grund oft ein Netz aus hellen Linien. Dort wird das Sonnenlicht in Kaustiken oder Brennlinsen fokussiert. Fleischmann und seine Kollegen haben mit ihren Rechnungen gezeigt, dass schon minimale Störungen ausreichen, um ein solches Phänomen hervorzurufen. Kleine Ursachen können eine große Wirkung haben – bisher wurde das schlicht übersehen.

Jetzt kommt der Tsunami ins Spiel, genau genommen der katastrophale Tsunami vom 11. März 2011, der in Japan mehrere Kernkraftwerke zerstörte und so letztlich zum Ende der Kernenergie in Deutschland führte. Wissenschaftler des Center for Tsunami Research des NOAA rekonstruierten, wie sich die Welle auf dem Pazifik ausbreitete und wie sich ihre Höhe veränderte. Sie benutzten dafür Daten von Sensoren im offenen Ozean, die die Wellenhöhe an einigen Orten registriert hatten. Diese Messdaten passten sie dem modellierten Verlauf des Tsunami an. Was dabei herauskam, sah dem

Links Völlig zerstört hat der Tsunami von 2004 diesen Teil der nordindonesischen Stadt Banda Aceh. Zwei Luftaufnahmen im Vergleich: oben sechs Monate vor der Katastrophe und unten zwei Tage danach.

Rechts Wie die von Seebeben ausgelösten Wellen durch das Relief des Meeresbodens gebündelt werden, lässt sich mit Elektronen simulieren, die von einer Punktquelle in alle Richtungen strömen. Dabei fokussieren kleine Fehler in der leitenden Schicht den Fluss der Ladungsträger zu kleinen Verästelungen.



Elektronenbild im Halbleiter verblüffend ähnlich. „Das könnte etwas miteinander zu tun haben“, vermutete Ragnar Fleischmann sofort. Auch hier gab es keine homogene Wellenfront, sondern die Wellenenergie fokussierte in einzelnen Bändern, die sich verästelten – wie es Fleischmann aus den Nanostrukturen kannte. In den Bändern erreichte die Welle eine viel größere Höhe als im Umfeld. Die Werte unterschieden sich zwar nur um wenige Dezimeter, doch das hat bei einem Tsunami am Ende große Auswirkungen.

DAS RELIEF DES MEERESBODENS BEEINFLUSST TSUNAMIS

Denn ein Tsunami ist eine sehr ungewöhnliche Welle. Auf dem offenen Ozean übersteigt ihre Höhe selten einen Meter. Dafür ist sie ungeheuer lang: Zwischen zwei Wellentälern liegen oft mehrere Hundert Kilometer. Ihre Form gleicht keinem steilen Berg, sondern eher einer sanft geneigten Ebene. Wer sie sich vorstellen will, sollte eher an einen Gezeitenberg denken als an Windwellen. Die Besatzungen von Schiffen spüren meist nicht einmal, wenn sie einen Tsunami unter den Kiel nehmen. Ihr Schiff hebt sich ganz langsam und sinkt ebenso langsam wieder ab.

Experten sprechen von einer Flachwasserwelle. Denn die Wellenlänge ist wesentlich größer als die Wassertiefe. Man kann auch sagen: Für den Tsunami ist das Meer nicht mehr als eine Pfütze. Wichtig ist: Flachwasserwellen haben ganz andere Eigenschaften als die kurzen Wellen, die der Wind aufwirft. Ihr Charakter wird wesentlich vom Meeresgrund bestimmt.

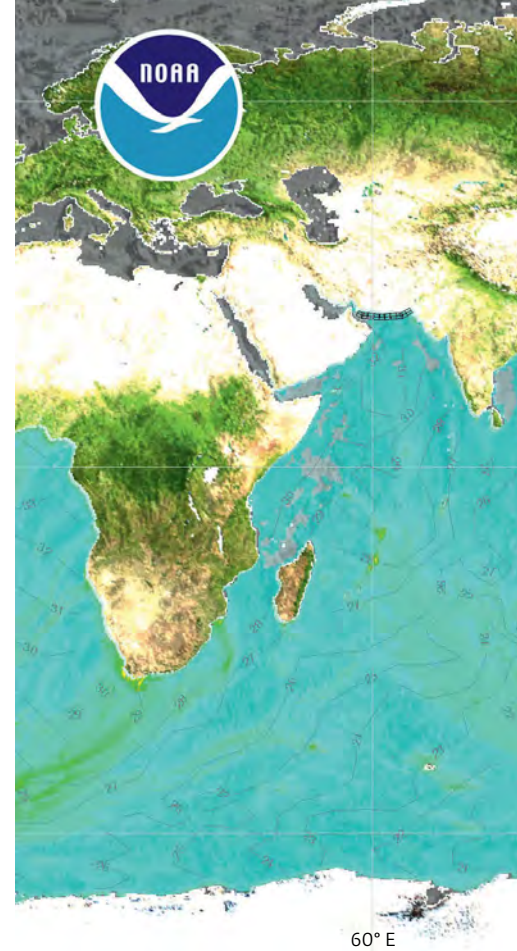
Das fängt mit der Geschwindigkeit an, mit der ein Tsunami über den Ozean rollt. Dieses Tempo ist allein von der Wassertiefe abhängig. Bei einer Tiefe von 5000 Metern erreicht ein Tsunami

rund 800 Stundenkilometer – das Tempo eines Jets. Bei 3000 Meter Wassertiefe sind es noch immer gut 600 Stundenkilometer. Erst an der Küste wird die Welle heftig abgebremst, stellt sich dabei steil auf und erreicht ihre katastrophalen Ausmaße. Die wenigen Dezimeter Höhenunterschied in einem Tsunami, der sich über das offene Meer bewegt, wachsen sich am Ufer dann zu vielen Metern aus.

Das Relief des Meeresbodens bestimmt aber nicht nur das Tempo, sondern auch den Kurs und die Gestalt der Welle. So wirkt ein Unterwasserberg wie eine Sammellinse und fokussiert die Energie. Vertiefungen wirken dagegen wie Streulinse, lange Gräben wie Führungsschienen. Dazu kommen Inseln, die der Wellenfront ebenfalls zusetzen. Das alles berücksichtigen Experten, die den Weg eines Tsunamis modulieren. Doch sie haben bisher nur große Strukturen im Visier. Kleine Störungen, Erhebungen von nur 100 oder 200 Metern, gehen nicht in die Berechnungen ein – was zu erheblichen Fehlern führen kann, wie Fleischmann und seine Kollegen nun gezeigt haben.

Sie nahmen sich ein Quadrat im Indischen Ozean vor, 1500 mal 1500 Kilometer groß, ohne störende Inseln oder größere Unterwasserberge. Tiefe: rund 4000 Meter plus/minus sieben Prozent. Das Relief des Meeresbodens entnahmen sie dem offiziellen Datenpool. Daraufhin ließen sie im Computer einen Tsunami, von einer fiktiven Quellen ausgelöst, darüberlaufen und beobachteten, wie der Meeresboden die Welle veränderte.

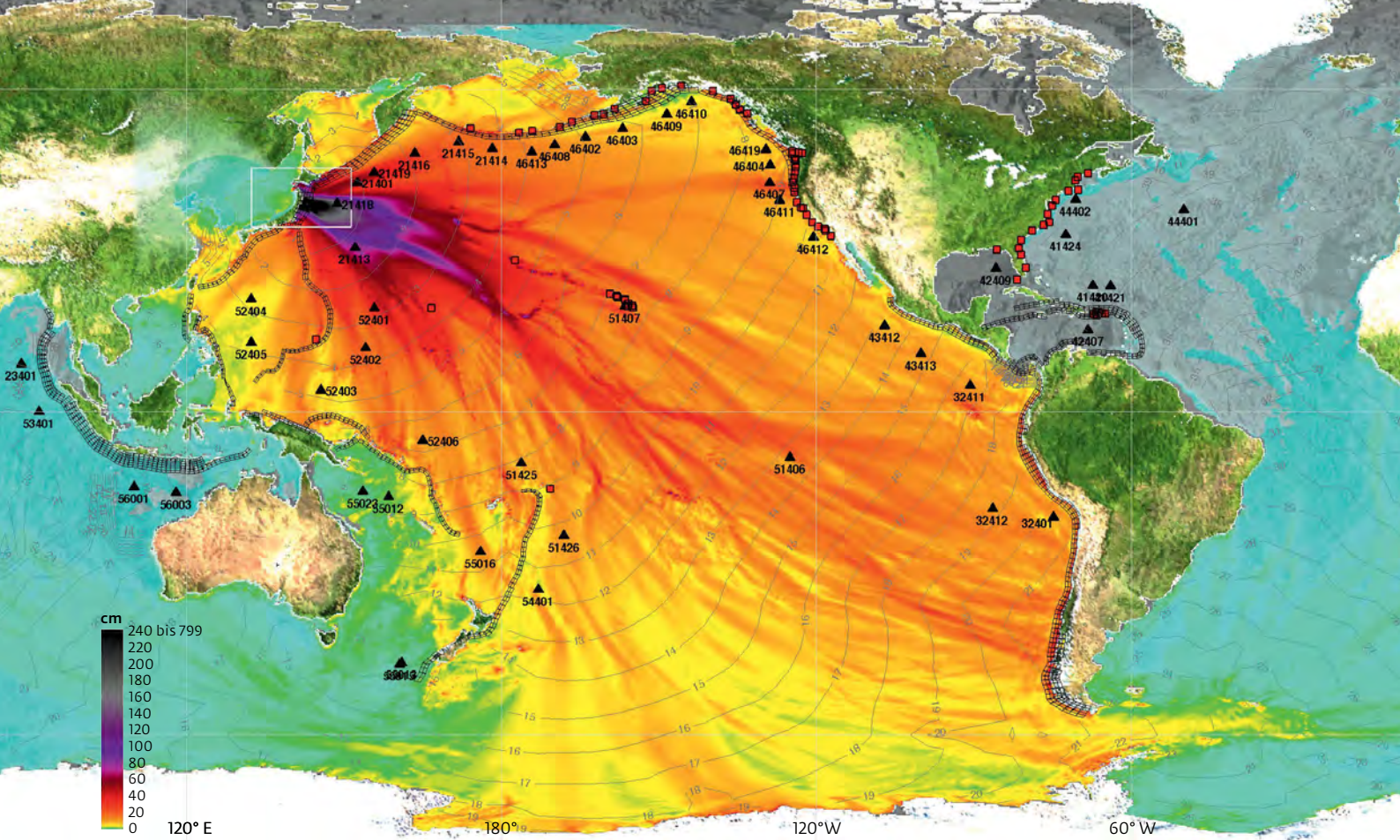
In einem zweiten Durchlauf variierten sie das Relief des Meeresbodens ein wenig. Kein große Sache, denn die vorhandenen Daten über die Meerestiefe sind alles andere als exakt. Die Genauigkeit liegt bei einigen Hundert Metern. Also bauten die Forscher ein paar Hü-



Oben Der Tsunami, der 2011 nach dem Beben vor der japanischen Küste entstand, raste mit deutlichen Höhenunterschieden durch den Pazifik. An einigen Stellen ragte die Welle nur 20 Zentimeter über den mittleren Meeresspiegel (gelb), an anderen erreichte sie eine Höhe von acht Metern (schwarz).

Unten Wenn Elektronen von einer Punktquelle durch die Grenzschicht zwischen zwei Halbleitern fließen, werden sie von Fremdatomen in dem Material gebündelt, wie diese Simulation demonstriert. Solche Kaustiken lassen sich auch auf dem offenen Meer beobachten. Hier können Strömungen Wellen so bündeln, dass sie mindestens die doppelte Höhe des Seegangs in ihrer Umgebung erreichen.





gel ein, kleiner noch als die Fehlertoleranz. Dieses zweite Relief entsprach demnach noch immer der realen Topografie. Wieder ließen sie einen Tsunami darüberlaufen – und bekamen ein völlig anderes Bild. An manchen Punkten unterschied sich die Energie der Wellen zwischen den beiden Berechnungen um den Faktor zehn. Und eine Zehnerpotenz macht sich in enormen Höhenunterschieden bemerkbar und kann über Leben und Tod entscheiden. Wie schon im Halbleiter hat eine kleine Ursache eine große Wirkung.

Aber was bedeutet diese Erkenntnis für die Vorhersage? Solange keine exakten Karten vom Ozeanboden existieren, lassen sich die Kaustiken leider nicht verlässlich vorhersagen. Die Modelle bleiben wohl oder übel fehlerhaft. „Doch man muss sich bewusst machen, dass es diesen Effekt gibt“, sagt Fleischmann. So könnten die Warndienste überprüfen, welchen Einfluss kleine Schwankungen der Ozeantiefe auf ihre Berechnungen haben, und dadurch die Zuverlässigkeit ihrer Vorhersagen besser einschätzen.

Freilich haben die Dienste noch mit ganz anderen Problemen zu kämpfen. Vor allem müssen sie dafür sorgen, dass

ihre Warnungen noch im kleinsten Fischerdorf ankommen und dort auch ernst genommen werden. Fehlalarme machen ihre Bemühungen zunichte, denn sie lassen die Menschen abstumpfen. Wer sich dreimal unnötigerweise in Sicherheit gebracht hat, tut es beim vierten Mal nicht mehr. Das Problem: Nicht jedes Erdbeben erzeugt einen Tsunami. Nur wenn sich der Meeresboden in vertikaler Richtung bewegt, bringt er das Wasser in Wallung.

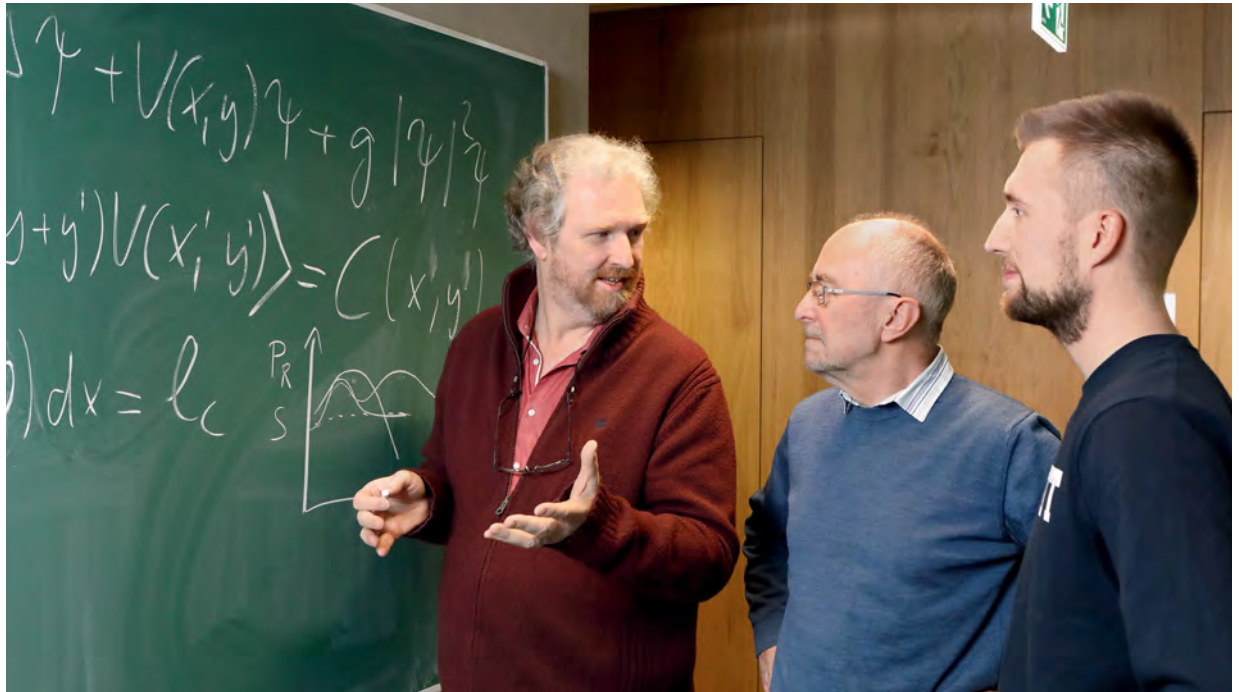
VIELE BEISPIELE, WO DER MECHANISMUS GREIFT

Ein Tsunami, der um die halbe Welt rast, und der Elektronenfluss in einem Halbleiter – dazwischen liegen etwa zwölf Größenordnungen. Dennoch greift jeweils derselbe Mechanismus. Mehr noch: Die Zusammenhänge, die Fleischmann im Halbleiter gefunden hat, haben universelle Gültigkeit. Überall, wo sich eine Welle durch ein ungeordnetes Medium ausbreitet, können kleine Störungen große Folgen haben und die Energie zu verästelten Strukturen bündeln.

Natürlich müssen bestimmte Voraussetzungen erfüllt sein. Zum einen

darf das Medium die Wellen nur relativ schwach ablenken. Würde jede Begegnung mit einer Störstelle die Wellen in alle Richtungen streuen, träte der Effekt nicht auf. Zum anderen muss das Medium ungeordnet sein, weil ein Meeresboden, der so regelmäßig strukturiert ist wie ein Eierkarton, eine Welle nicht beeinflussen würde. Dass sich Erhebungen und Senken unregelmäßig in einer Landschaft verteilen, ist jedoch eher die Regel als die Ausnahme.

Kein Wunder also, dass es viele weitere Beispiele gibt, wo dieser Mechanismus greift. Zum Beispiel das Funkeln der Sterne. Natürlich funkeln Sterne nicht wirklich, doch wenn man länger hinschaut, hat man diesen Eindruck. Ursache sind auch hier Kaustiken: Bis es zu unseren Augen gelangt, muss das Licht durch die Atmosphäre dringen. Und dort lauern viele kleine Störungen, die eine Bündelung der Lichtintensität bewirken. Für den Betrachter bedeutet das: Der Stern wird mal heller, mal dunkler. Trifft eine Kaustik auf das Auge, gleicht das einem kleinen Lichtblitz – und wir haben den Eindruck, der Stern blinke. Das erklärt auch, warum Sterne dann besonders intensiv funkeln, wenn es in der Atmosphäre turbulent zugeht. >



Ein besonders beeindruckendes Beispiel sind die Riesenwellen, auch Kaventsmänner oder Freakwaves genannt. Sie haben nichts mit Tsunamis zu tun, es sind einfach nur ungewöhnlich hohe, windgetriebene Wellen, die sich mitten im Ozean plötzlich auftürmen. Sie sind mindestens doppelt so hoch wie die umgebenden Wellen und sollen schon viele Schiffe verschlungen haben. Bis vor wenigen Jahrzehnten hat man Geschichten darüber für Seemannsgarn gehalten.

STRÖMUNGEN KÖNNEN WELLEN ZU KAVENTSMÄNNERN BÜNDELN

Inzwischen ist man schlauer, zumindest die Beobachtungen von Seeleuten gelten als gesichert, die sogar mehrere Kategorien von Monsterwellen kennen: Neben der ungewöhnlich hohen Welle gibt es die „Weiße Wand“, die besonders steil aufragt und durch den Schaum hell leuchtet. Tückisch sind auch die „Drei Schwestern“, drei aufeinanderfolgende Riesenwellen, die manches Schiff so stark abbremsen, dass es den letzten Wellenkamm nicht mehr erklimmen kann.

Wenn Berichte von solchen unheimlichen Begegnungen auf dem Ozean nicht mehr als Mythen abgetan werden, liegt das auch daran, dass der

Schiffsverkehr enorm zugenommen hat und kaum ein Meeresabschnitt unbeobachtet bleibt. Zudem zeichnen die Ölplattformen die Wellenbewegungen auf, auch manche Satelliten können die riesigen Brecher erkennen. Im Februar 1995 registrierte ein Lasersystem auf der Bohrinsel Draupner in der Nordsee eine 26 Meter hohe Woge, und im November 2007 raste eine 21 Meter hohe Wasserwand auf die Ekofisk-Plattform in der Nordsee zu. Es soll die steilste Welle gewesen sein, die jemals gemessen wurde. Der Sturm hatte damals lediglich die Stärke neun, und die Welle kam wie aus dem Nichts.

Jedes Jahr gehen Schiffe auf unerklärliche Weise verloren, viele vermutlich als Folge einer Begegnung mit einer Killerwelle. Glück hatte das Kreuzfahrtschiff Bremen, als es 2001 östlich von Argentinien in einen Brecher geriet, der eine Höhe von 35 Metern gehabt haben soll. Die Wucht des Aufpralls drückte die Fenster auf der Brücke ein, die sonst haushoch über das Wasser ragt. Das eindringende Wasser verursachte einen Kurzschluss, sodass die Maschine ausfiel. Das Schiff legte sich quer zu den Wellen – eine brenzlige Situation. Erst nach einer halben Stunde gelang es der Mannschaft, den Hilfsdiesel zu starten.

Seit etwa 20 Jahren befasst sich die Wissenschaft ernsthaft mit Monsterwel-

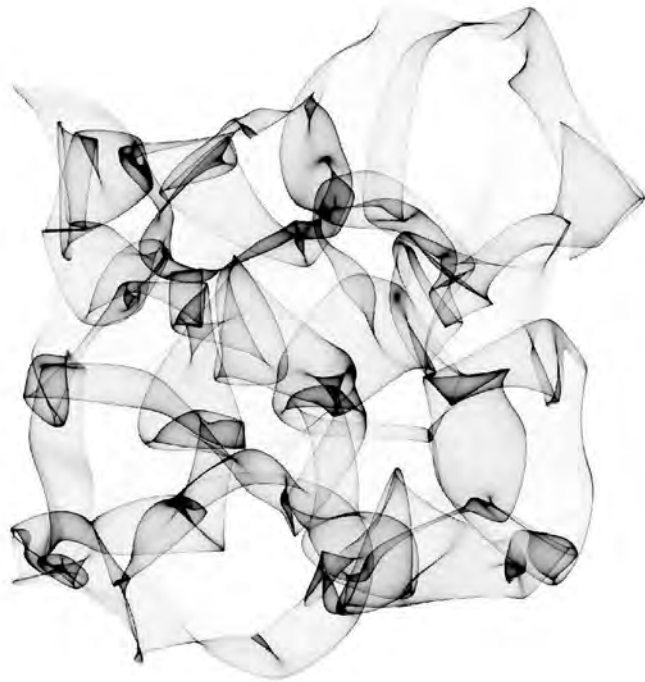
len. Doch eine schlüssige Erklärung für ihre Entstehung konnte sie bislang nicht liefern. Nach den einfachen Wellenmodellen dürfte es sie sogar gar nicht geben. Aber was hat das alles mit Kaustiken und Experimenten in Halbleitern zu tun? Die Antwort findet man, wenn man mit einem Schiff in die Mündung eines Flusses einfährt. Die Strömung des Flusses verändert die Wellen, die vom Meer heranrollen, und kann sie zu gefährlichen Brechern auftürmen.

Die Strömung entspricht den Fremdatomen im Halbleiter oder den Unterwasserhügeln beim Tsunami. Sie beeinflusst die Welle, verändert ihren Lauf und führt so an manchen Stellen zu einer Bündelung der Energie. Was an Flussmündungen gut sichtbar ist, geschieht auch auf offener See. Denn das Wasser ist überall in Bewegung. Trägt man die oberflächennahen Strömungen auf einer Karte auf, erhält man ein buntes Muster von Spiralen.

Gefahr droht vor allem dort, wo sich Strömungen kreuzen. Auch hier kann die Wellenenergie gebündelt werden, sodass sich wie aus dem Nichts ein haushoher Wellenberg auftürmt. Eric Heller, der Wissenschaftler, mit dem Fleischmann einst das Elektronen-Experiment machte, hat sich besonders intensiv mit den Monsterwellen beschäftigt. Sein Fazit: Berücksich-

Links Ragnar Fleischmann diskutiert mit Max-Planck-Direktor Theo Geisel und Doktorand Gerrit Green (von links) mathematische Gesetzmäßigkeiten, die sowohl für die Elektronendynamik als auch für Meereswellen gelten.

Rechts Wie Licht durch Wasser mit einer bewegten Oberfläche zu einem Gespinst von Kaustiken fokussiert wird, hat Ragnar Fleischmanns Team simuliert. Die Forscher stellen den Effekt in invertierter Form dar, sodass die eigentlich hellen Brennpunkte dunkel erscheinen.



sichtigt man die Verästelungen des Wellenflusses, die von den Strömungen verursacht werden, sagt er, erhalte man 50-mal so viele Freakwaves wie ohne diese Annahme. Das klingt realistisch. Denn dass es viel mehr Kaventsmänner gibt, als bisher angenommen wurde, haben inzwischen auch andere Untersuchungen bestätigt.

MIT ZWEI THEORIEN ZU REALISTISCHEN VORHERSAGEN

Doch es gibt noch eine andere Theorie zur Entstehung der Freakwaves. Sie beruht auf speziellen Eigenschaften der Wellengleichung, sogenannten Nicht-linearitäten, mit denen die Wasserwellen beschrieben werden. Fleischmann ist überzeugt, dass nur die Verbindung der beiden Theorien ermöglichen wird, realistische statistische Vorhersagen von Freakwaves zu machen. Dies ist daher eines der Forschungsprojekte, mit denen er sich derzeit beschäftigt.

Darüber hinaus widmet er sich vor allem dem tieferen Verständnis und der statistischen Beschreibung der Flussverästelung. Denn Kaustiken sind nur deren augenfälligstes Merkmal. Tatsächlich kommt es in einem verästelten Fluss zu einem diffizilen Wechselspiel von chaotischer Streckung, Stauchung und Faltung der Wellenfronten, bei

dem Kaustiken ebenso auftreten wie Interferenzerscheinungen. Nur wenn Wissenschaftler verstehen, wie diese Faktoren zusammenwirken, können sie

zu belastbaren Vorhersagen gelangen, wie oft Monsterwellen auftreten und wo Tsunamis die größte Zerstörungskraft entfalten. ◀

AUF DEN PUNKT GEBRACHT

- Fremdatome in winzigen Halbleiterstrukturen bewirken, dass sich ein Elektronenfluss durch das System verästelt. Daraus ziehen Max-Planck-Physiker Analogieschlüsse, warum Tsunamis mit unterschiedlicher Wucht auf verschiedene Küstenabschnitte treffen. Denn ähnlich wie Defektatome die Elektronen ablenken, werden die zerstörerischen Wellen durch Unregelmäßigkeiten im Meeresboden fokussiert.
- Mithilfe von Untersuchungen an den Nanosystemen lässt sich auch besser verstehen, warum sich auf offener See immer wieder Monsterwellen auf türmen. Hier werden die vom Wind angetriebenen Wellen durch Meeresströmungen gebündelt.
- Die Erkenntnisse können dazu beitragen, Frühwarnsysteme für Tsunamis zu verbessern und statistische Vorhersagen zu präzisieren, wie oft Schiffe auf Kaventsmänner treffen können.

GLOSSAR

Flussverästelung: Der Fluss von Elektronen oder Wasserwellen kann durch Störungen gebündelt werden.

Kaustik: Bei dem aus der Optik bekannten Effekt wird Licht zu Brennpunkten fokussiert, etwa wenn es durch bewegtes Wasser fällt. Ähnlich können aber auch Elektronen oder Wasserwellen zu Kaustiken gebündelt werden.

Monsterwelle: Meeresströmungen können die vom Wind angetriebenen Wellen so bündeln, dass sie mehr als die doppelte Höhe der umgebenden Wellen erreichen. Monsterwellen werden auch Kaventsmänner genannt.

Quantenpunktkontakt: Nanoskopische Verengung in einem Leiter. Wenn Elektronen durch eine solche Engstelle fließen, treten Quanteneffekte auf, die in gewöhnlichen Leitern nicht zu beobachten sind.

Tsunami: Von einem Seebeben ausgelöste Welle.

Leben im Laufschrift

Bei **Silvia Cappello** dreht sich alles um Bewegung: Am **Max-Planck-Institut für Psychiatrie** in München erforscht sie, wie die verschiedenen Nervenzellen während der Embryonalentwicklung des Gehirns an den richtigen Platz in der Großhirnrinde wandern. Auch in ihrer Freizeit kennt die passionierte Sportlerin keinen Stillstand.

TEXT **ELKE MAIER**

Wer gemeinsam mit Silvia Cappello die Treppe zu ihrem Büro im vierten Stock des Max-Planck-Instituts für Psychiatrie hinaufläuft, kommt leicht aus der Puste. „Ich nutze den Weg gern als Training“, sagt die Wissenschaftlerin, die hier seit April 2015 eine unabhängige Max-Planck-Forschungsgruppe „Entwicklungsneurobiologie“ leitet.

Dass sie sehr sportlich ist, lässt bereits der Blick auf die Institutswebsite erkennen: Ein Foto zeigt sie mit Anorak, Pudelmütze und strahlendem Lächeln auf einem Holzschlitten, ein anderes kurz nach einem Laufwettbewerb: „Silvia Cappello, nun offiziell drittschnellster weiblicher Boss Münchens“, heißt es in der Bildunterschrift. Die Liste ihrer Sportarten ist lang, wie sich im Gespräch bald herausstellt: Laufen, Radfahren, Klettern, Schwimmen, Skifahren, Snowboarden und Surfen zählen dazu, früher auch Boxen und Judo.

„Ich bin ein wenig hyperaktiv“, sagt sie, „und das kompensiere ich mit Sport. Ich sitze nur selten still, außer am Rechner. Und ich will oft zu viel auf einmal machen!“

UNTER MILLIARDEN ZELLEN DEN RICHTIGEN PLATZ FINDEN

In Silvia Cappellos Büro ist es bunt und wohnlich: ein knallgelbes Sofa, dazu ein schwarzer Teppich mit weißen Tupfen. An den Wänden Bilder von Nervenzellen in leuchtenden Farben. Ein Regal, in dem Fachbücher, eine asiatische Winkekatze, Kinderbassteleien und Fotos von Familie und Freunden harmonisch koexistieren. Und am Fenster Grünpflanzen, die sie von ehemaligen Doktoranden adoptiert hat: „So denke ich immer an sie. Ich mag es, alle um mich zu haben, die mir wichtig sind!“

Beim Treffen zeigt sich die Wissenschaftlerin locker und aufgeschlossen.

So wie jemand, mit dem man abends gern auf ein Bier geht. Oder am Wochenende zu einer Bergtour aufbricht. In Jeans, T-Shirt und Turnschuhen lehnt sie in ihrem Schreibtischstuhl und spricht über Wissenschaft und Privates. Ihr Englisch hat einen leichten südländischen Einschlag, und auch beim Reden legt sie Tempo an den Tag: Ohne Stenografiekenntnisse geraten die Gesprächsnotizen schnell zur Herausforderung.

Silvia Cappello hat sich auf die Embryonalentwicklung des Gehirns spezialisiert. Gemeinsam mit ihrem siebenköpfigen Team untersucht sie die Abläufe, die dafür sorgen, dass in dem komplexen Netzwerk aus Milliarden von Zellen jede einzelne den richtigen Platz einnimmt, um ihre Funktion erfüllen zu können.

Um ihr Forschungsthema zu veranschaulichen, zieht die Wissenschaftlerin aus einem Papierstapel ein Blatt mit zwei Magnetresonanz-Aufnahmen von



Laufend nachdenken: Joggen hält Silvia Cappello nicht nur körperlich fit, sondern hilft ihr auch, die Gedanken zu ordnen. Die Wissenschaftlerin kommt dabei immer wieder auf neue Ideen.



menschlichen Gehirnen. Mit dem Kugelschreiber zeigt sie auf eine Stelle im rechten Bild: „Die graue Schicht dürfte da eigentlich nicht sein“, sagt sie, „die Zellen hätten weiter nach außen an den Rand wandern müssen.“

Bei etwa drei Prozent aller Menschen führen falsch platzierte Nervenzellen zu Fehlbildungen der äußeren Großhirnrinde. Je nachdem, welche Zellen und welches Areal betroffen sind, wirkt sich das ganz unterschiedlich aus: „Manche ahnen gar nichts davon, andere leiden an schwerer Epilepsie“, sagt Silvia Cappello. „Auch Autismus könnte damit zu tun haben.“

WARUM ZELLEN MANCHMAL VOM RECHTEN WEG ABKOMMEN

Warum aber wandern die Zellen im Gehirn überhaupt? „Während der Embryonalentwicklung entstehen die Nervenzellen aus neuralen Stammzellen im Neuralrohr“, erklärt die Forscherin. „Von dort aus migrieren sie an ihren jeweiligen Bestimmungsort in die unterschiedlichen Schichten der Großhirnrinde.“

Auf ihrem Weg spezialisieren sich die jungen Neuronen bereits, etwa in Seh- oder Riechzellen. Manchmal aber passiert es, dass sich die Zellen an der falschen Stelle niederlassen – Forscher sprechen von Heterotopie. Die elektrischen Signale, die sie von dort aus abfeuern, können die komplizierten

Ein guter Stand in der Wissenschaft: Seit 2015 ist Silvia Cappello Forschungsgruppenleiterin am Max-Planck-Institut für Psychiatrie in München. Dort schätzt sie nicht nur das Arbeitsumfeld – auch die Nähe zu den Alpen und zu ihrer Heimat Italien kommen ihr sehr entgegen.

Foto: Axel Griesch

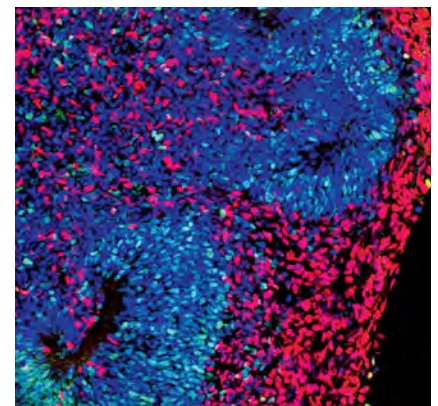
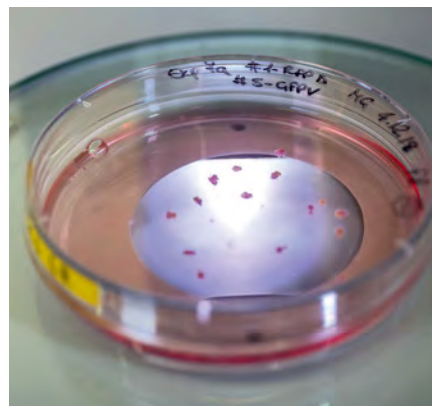
» Jede einzelne Zelle muss an einen ganz bestimmten Ort gelangen, um ihre Funktion erfüllen zu können. Woher die Zellen wissen, wohin sie müssen, ist ein großes Rätsel.

Schaltkreise im Gehirn durcheinanderbringen und damit Krankheiten wie Epilepsie auslösen. Silvia Cappello und ihr Team wollen herausfinden, warum Nervenzellen manchmal von ihrem Weg abkommen.

„Man muss sich das einmal vorstellen“, sagt die Wissenschaftlerin voller Begeisterung: „Jede einzelne Zelle muss an einen ganz bestimmten Ort gelangen, um ihre Funktion erfüllen zu können. Wie funktioniert das? Woher wissen die Zellen, wohin sie müssen? Das alles ist ein großes Rätsel. Und schon der kleinste Fehler kann fatale Auswirkungen haben!“ Das Faszinierendste überhaupt aber ist für Cappello, dass trotz aller Komplexität meistens alles gut geht: „Dafür ist nicht nur exakte räumliche Koordination wichtig, sondern auch zeitliche, denn die Stammzellen, aus denen die verschiedenen Zelltypen hervorgehen, teilen sich zu unterschiedlichen Zeitpunkten.“

Wie all das aufeinander abgestimmt wird, verstehen Forscher bisher erst ansatzweise: „Wir wissen, dass sich die jungen Neuronen von chemischen Signalen leiten lassen, aber auch von der Gestalt der Zellen in der Umgebung.“ Silvia Cappello und ihr Team erforschen die Wanderung der Zellen an unterschiedlichen Modellsystemen, zum Beispiel an Nervenzellen in der Petrischale und am Gehirn von Mäusen. Außerdem arbeiten sie mit Gehirn-Organoiden – stecknadelkopfgroßen Zellhaufen (siehe MAXPLANCKFORSCHUNG 3/18, S. 54), die sie aus menschlichen neuronalen Stammzellen heranziehen.

Diese Technik gibt es noch nicht lange: „Die ersten Veröffentlichungen über Gehirn-Organoiden kamen im Jahr



Klein, aber revolutionär: Silvia Cappello und ihr Team studieren die Zellwanderung anhand von stecknadelkopfgroßen Gehirn-Organoiden, die sie im Labor züchten (links). Mithilfe von Fluoreszenzfarbstoffen machen die Forscher die unterschiedlichen Zelltypen sichtbar (rechts): Blau markiert die Kerne aller Zellen, Grün die neuronalen Stammzellen, Rot bestimmte Neuronen.

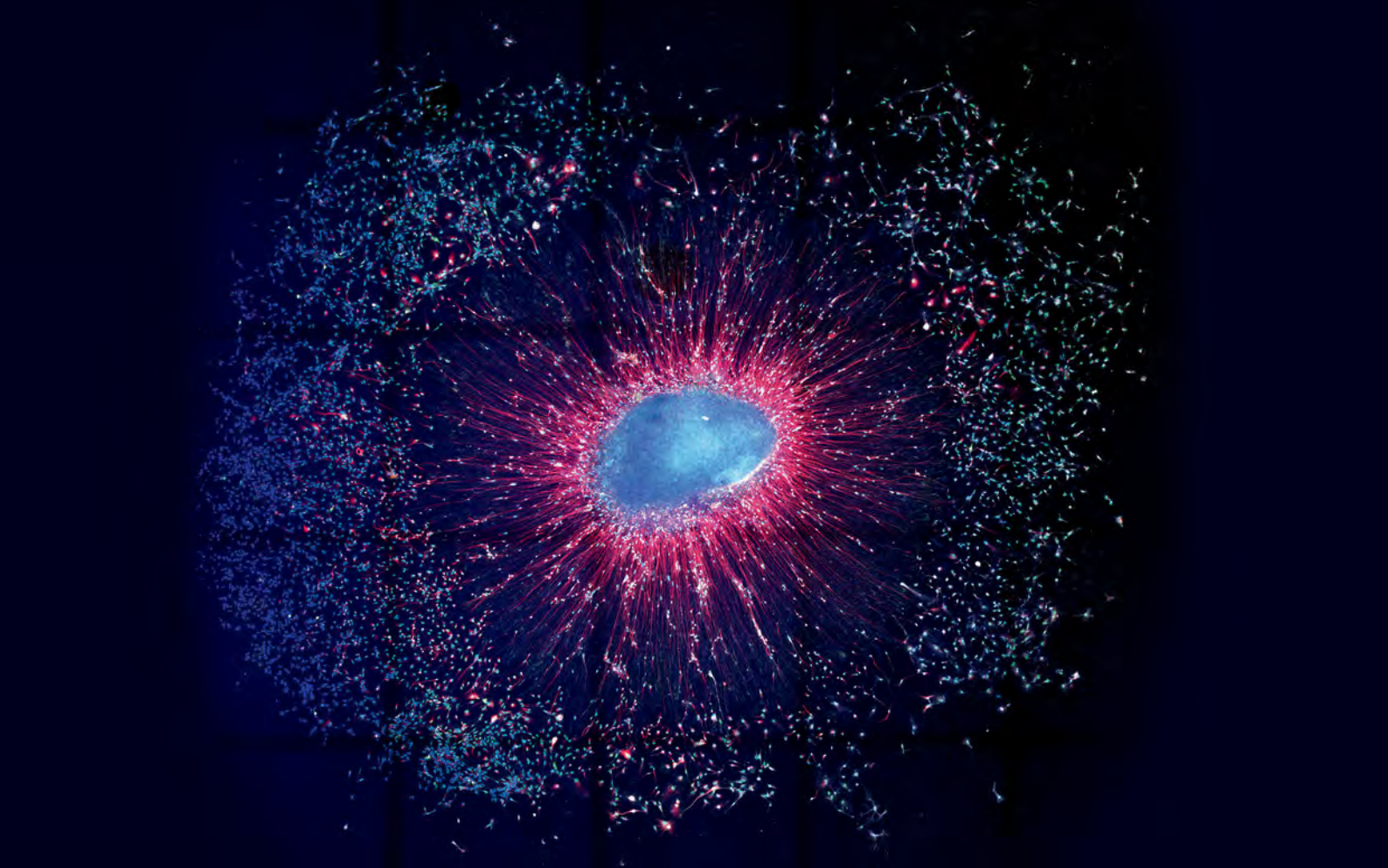
2013 heraus. Wir haben die Protokolle gleich getestet und hatten Glück: Es hat von Anfang an geklappt!“ Die unscheinbaren Zellklumpen leben in einer rötlichen Nährlösung und gedeihen in Kulturschalen im Brutschrank bei angenehmen 37 Grad. Durch einen langsamen Rüttler permanent in Bewegung gehalten, können sie nicht am Boden festkleben und werden dadurch optimal mit Sauerstoff und Nährstoffen versorgt. Nach etwa zehn Tagen sind die jungen Organoiden so weit, dass die Forscher mit ihnen arbeiten können. Bis zu einem Jahr überleben sie im Labor.

„Für die Forschung sind die Organoiden eine Revolution“, sagt Silvia Cappello. „Sie ähneln einem menschlichen Gehirn in einem sehr frühen Entwicklungsstadium. Damit besitzen wir ein Zellkultursystem, mit dem wir die Zellen in einem dreidimensionalen Gewe-

be beobachten können.“ Unter dem Mikroskop können die Forscher die Bewegungen einzelner Zellen verfolgen. Organoiden mit Mutationen im Erbgut liefern Hinweise darauf, welchen Effekt diese genetischen Veränderungen auf die Zellwanderung haben.

GENETISCHE VERÄNDERUNGEN STÖREN DIE WANDERUNG

Erst einmal ist es dafür aber wichtig, solche Mutationen zu identifizieren, die bei der Wanderung eine Rolle spielen. „Die genetischen Ursachen für Fehlbildungen der Großhirnrinde sind sehr unterschiedlich“, erklärt die Wissenschaftlerin. „Um einen Ansatzpunkt für künftige Therapien zu finden, müssen wir herausfinden, was die unterschiedlichen Krankheitsbilder gemeinsam haben.“



Gehirn-Organoiden ermöglichen es den Max-Planck-Forschern, die Zellwanderung im Mikroskop zu verfolgen. Das Bild zeigt einen 300 Mikrometer (tausendstel Millimeter) dicken Schnitt durch ein solches Organoid (blau). Rot sind die nach außen wandernden Neuronen gekennzeichnet.

Silvia Cappello arbeitet dafür mit Kolleginnen und Kollegen aus dem In- und Ausland zusammen, etwa Barbara Treutlein vom Max-Planck-Institut für evolutionäre Anthropologie in Leipzig. Ein anderer wichtiger Kooperationspartner ist Stephen Robertson, Humangenetiker an der University of Otago in Neuseeland. Gemeinsam durchforsten die Wissenschaftler die Genome von Patienten nach winzigen Veränderungen. Mittlerweile kennen sie etliche Mutationen, die für das Migrationsverhalten von Neuronen eine Rolle spielen und deren Effekte sie weiter untersuchen.

Für Silvia Cappello ist das Gehirn auch nach Jahren „das faszinierendste Forschungsobjekt überhaupt“. Wie aber ist sie dazu gekommen? Vielseitig, wie sie ist, war sie auf dieses Thema zunächst nicht festgelegt.

Aufgewachsen ist die Wissenschaftlerin in Bologna, als zweites Kind einer Juristenfamilie. In der Schule stehen klassische Fächer wie Griechisch, Latein

und Philosophie auf dem Stundenplan. Als Jugendliche spielt sie Klavier und Geige. „Ich wäre gerne Violinistin geworden“, sagt Cappello, „aber dafür war ich nicht gut genug.“ Stattdessen geht sie bis zum Abschluss ihres Studiums in einer Punkrock-Band, gemeinsam mit alten Schulfreunden. Auch Sport ist für sie schon zu Schulzeiten wichtig.

REISEN BRINGT KLARHEIT BEI ENTSCHEIDUNGEN

Die Weichen stellt schließlich der Biologieunterricht in der Oberstufe: „Ich war fasziniert vom Fach Genetik und wollte unbedingt mehr darüber wissen.“ Anstatt also der Familientradition zu folgen und Anwältin zu werden, entscheidet sie sich für ein Biotechnologiestudium. Die Eltern haben damit kein Problem: „Sie haben mir immer alle Freiheiten gelassen und mich ermutigt, mich auf meinen Instinkt zu verlassen.“ Auch hat ihr drei Jahre älterer

Bruder bereits den Weg geebnet: „Er ist Biophysiker und lebt in Frankreich.“

Auf ihr späteres Forschungsobjekt stößt die junge Frau erstmals im dritten Studienjahr: „Wir haben Nervenzellen im Mikroskop angeschaut, und ich habe mich sofort in sie verliebt. Sie sehen so ganz anders aus als alle anderen Zellen – einfach faszinierend!“ Einmal mehr folgt sie ihrem Instinkt und schreibt ihre Diplomarbeit über Neurotrophine und darüber, wie diese körpereigenen Signalstoffe die Aktivität von Nervenzellen beeinflussen.

Dann muss sie sich entscheiden: Soll sie eine Doktorarbeit machen? Und wenn ja, zu welchem Thema? „Immer wenn ich eine wichtige Entscheidung treffen muss, verreise ich“, sagt Silvia Cappello. „Und zwar allein.“ Sie fliegt nach Irland und zieht drei Monate lang mit dem Rucksack kreuz und quer über die Insel. Der Trip bringt Klarheit: Nach ihrer Rückkehr fängt sie eine Doktorarbeit an der Universität in Bologna an. Begeistert ist sie davon allerdings nicht.

Lagebesprechung: Mit ihren Doktorandinnen Isabel Buchsbaum und Fabrizia Pipicelli diskutiert Silvia Cappello über die letzten Experimente und das weitere Vorgehen.



Soll sie vielleicht lieber nach Deutschland wechseln? Also wieder die Sachen gepackt, diesmal für drei Monate nach Australien. Danach steht fest: Sie geht zu Magdalena Götz, die das Labor für Stammzellenforschung am Helmholtz Zentrum in München leitet.

„Das war die wichtigste Entscheidung in meinem Leben“, sagt Silvia Cappello entschieden. „Magdalena ist eine der inspirierendsten Wissenschaftlerinnen, die ich kenne.“ Auch privat zieht sie damit das große Los: In Götz' Arbeitsgruppe lernt sie nicht nur einen ihrer besten Freunde kennen, mit dem sie noch heute ein- bis zweimal die Woche klettern geht. Sie trifft auch ihren künftigen Ehemann.

TÜR AN TÜR MIT NOBELPREISTRÄGERN ARBEITEN

Die beiden beschließen, nach der Promotion gemeinsam an die Rockefeller University in New York zu wechseln. „Dabei ging es uns nicht nur um die Wissenschaft, es sollte auch eine wichtige Lebenserfahrung werden.“ Als Postdoc bei Richard Vallee an der Universität von Columbia erforscht sie spä-

ter die genetischen Grundlagen von Lissenzephalie, einer seltenen Fehlbildung des menschlichen Gehirns. Betroffene haben keine gewundene, sondern eine glatte Hirnoberfläche – verursacht durch die gestörte Wanderung von Nervenzellen.

Damit hat sie für sich das Richtige gefunden. Die junge Wissenschaftlerin liebt ihre Arbeit und die Atmosphäre am Institut: „Tür an Tür mit Nobelpreisträgern zu forschen, das hat schon was. Und New York ist einfach wahnsinnig aufregend!“ Jede Woche zieht es sie ins Museum of Modern Art, sie mag zeitgenössische Kunst, ganz besonders Kandinsky. Auch sportlich ist einiges geboten: Regelmäßig nimmt sie an den in den USA so beliebten *charity runs* teil: „Ich laufe gern für eine gute Sache!“

Dauerhaft in New York leben möchten sie und ihr Partner trotzdem nicht: „Wir wollten eine Familie haben, und ich konnte mir nicht vorstellen, dort Kinder aufzuziehen. Dafür ist mir die Stadt zu groß und zu hektisch.“ München erscheint ihr besser geeignet: „Die Berge, die Isar, die Lebensart – eine Großstadt, aber sehr entspannt.“

Und nicht zu vergessen: die Nähe zu Italien. So könnte sie ihre Wochenenden und Ferien gemeinsam mit der Familie und ihrer Mutter aus Bologna in ihrem Appartement in den italienischen Brenta-Bergen verbringen – je nach Jahreszeit zum Klettern, Wandern, Skifahren oder Snowboarden.

FAMILIE, FORSCHUNG UND SPORT – EINE FRAGE DER ORGANISATION

Cappello ruft Magdalena Götz an und bekommt eine Stelle an ihrer alten Wirkungsstätte. Kurz bevor der erste Sohn zur Welt kommt, zieht das Paar wieder nach Deutschland. Vier Jahre später ergattert Silvia Cappello ein Max-Planck-Stipendium und kommt als Leiterin einer unabhängigen Forschungsgruppe ans Max-Planck-Institut für Psychiatrie. Heute ist sie Mutter von zwei Söhnen, fünf und neun Jahre alt.

Familie, Forschung und den Sport unter einen Hut zu bringen – für Silvia Cappello vor allem „eine Frage der Organisation“. Das sagt sie auch immer wieder ihren Studentinnen, denen sie zeigen will, dass sie sich nicht zwischen Familie und Karriere in der Forschung



Ein gutes Team, nicht nur im Labor: Auch beim Rafting auf der Loisach haben Silvia Cappello und ihre Mitarbeitenden gemeinsam viel Spaß. Von links, hintere Reihe: Francesco Di Matteo, Ane Cristina Ayo-Martin, Rossella Di Giaimo; vordere Reihe: Silvia Cappello, Christina Kyrousi, Isabel Buchsbaum, Fabrizia Picicelli.

entscheiden müssen: „Beides zusammen geht!“ Sie bedauert, dass es bisher in der Wissenschaft so wenige Rollenbilder gibt.

ALLTAG MIT KINDERFRAU UND GOOGLE-KALENDER

Anfangs sei ihr Familienleben chaotisch gewesen, aber inzwischen hätten sie und ihr Mann alles gut in Griff – „nicht zuletzt dank Google-Kalender, mit dem wir unsere Termine abstimmen“. Eine große Hilfe ist auch die italienische Kinderfrau, die sie engagiert haben: „Sie holt den Kleinen aus dem Kindergarten ab und passt auf, bis einer von uns beiden nach Hause kommt. So kann ich meine Arbeit in Ruhe zu Ende bringen und muss nicht hetzen.“

Nach einem langen Arbeitstag abschalten – für die Max-Planck-Forsche-

rin kein Problem: „Die Kinder bringen mich gleich auf andere Gedanken.“ Entspannen kann sie auch beim Kochen, am liebsten Gerichte aus der Heimat: „Essen ist für mich sehr wichtig – da bin ich wohl typisch italienisch!“ Beim Abendessen bleibt die Wissenschaft außen vor: „Früher, als

mein Mann und ich noch am selben Institut waren, hatten wir die Abmachung, dass Gespräche über die Arbeit nur noch auf der Heimfahrt erlaubt sind, danach nicht mehr. Heute klappt das auch so.“ Ihr Mann arbeitet mittlerweile in einem Pharmaunternehmen.

IN STÄNDIGEM WETTBEWERB MIT SICH SELBST

Den Abend gemütlich auf der Couch ausklingen zu lassen kommt für Silvia Cappello allerdings nicht infrage: Sobald die Kinder im Bett sind, läuft sie dreimal die Woche noch los, jedes Mal zehn bis fünfzehn Kilometer. „Beim Laufen kann ich wunderbar nachdenken!“ Derart in Form, nimmt sie regelmäßig an Halbmarathons teil. Sogar für einen Marathon hat sie schon trainiert, musste aber wegen einer Knieverletzung kurz vorher aufhören. Bei Wettkämpfen gehe es ihr aber nicht darum, andere zu übertreffen: „Ich konkurriere nur mit mir selbst. Wenn ich schlechter abschneide als beim letzten Mal, dann ärgert mich das!“

Konkurrenzdenken mag sie auch in der Wissenschaft nicht. Für die Leistung von Kolleginnen und Kollegen hat sie während des Gesprächs viel Lob übrig, und unter ihren Kooperationspartnern sind einige, mit denen sie auch privat befreundet ist. Und so ist auch der Umgang in ihrem Team locker und freundschaftlich: „Meine erste eigene Arbeitsgruppe – und alles hervorragende Leute. Ich bin sehr glücklich!“ ◀

GLOSSAR

Neurale Stammzellen: Sie bringen die verschiedenen Typen von Nerven- und Gliazellen hervor. Im embryonalen Gehirn kommen sie häufig vor, im erwachsenen dagegen kaum noch.

Neuralrohr: Embryonale Anlage in der Frühschwangerschaft, aus der das zentrale Nervensystem, das Rückenmark und das Gehirn hervorgehen.

Heterotopie [von griech. hetero = anders, topos = Ort] bezeichnet die Lage von Geweben oder Organen an ungewohnter Stelle. In der Neurologie meint der Begriff, dass die graue Substanz, die vorwiegend aus Nervenzellkörpern besteht, am falschen Ort liegt.

Gen-Salat

Von einer »seltene[n] Erkrankung« spricht man, wenn nur 5 von 10.000 Menschen betroffen sind – eine richtige Diagnose ist für Ärzte daher oft schwierig. Die Stiftung unterstützt Stefan Mundlos am Max-Planck-Institut für molekulare Genetik. Mit seiner Technologie können genetische Daten von Patienten zielgerichtet mit Datenbeständen seltener Erkrankungen abgeglichen werden – so werden Diagnose- und Therapiechancen besser.

Die Max-Planck-Förderstiftung unterstützt seit über zehn Jahren die Max-Planck-Gesellschaft, indem sie an den mehr als 80 Instituten gezielt innovative und zukunftsweisende Spitzenforschung fördert und so Durchbrüche in der Wissenschaft ermöglicht. Im weltweiten Wettbewerb der Wissenschaften können Sie als privater Förderer einen entscheidenden Unterschied machen und Freiräume schaffen. Gehen Sie mit uns diesen Weg!

ANZEIGE



MAX PLANCK FÖRDERSTIFTUNG
FOUNDATION

www.maxplanckfoundation.org

Max-Planck-Förderstiftung
Deutsche Bank

IBAN DE46 7007 0010 0195 3306 00



Materialmix aus der Küchenmaschine

Mit Pastamaschine, Pizzaofen oder Mixer hat das Team von **Valerio Molinari** sein Labor am **Max-Planck-Institut für Kolloid- und Grenzflächenforschung** in Potsdam ausgestattet. Und für ihre Experimente verwenden die Wissenschaftler häufig Abfälle aus der Lebensmittelindustrie oder der Forstwirtschaft. Mit diesen einfachen Mitteln können sie einen robusten Holzwerkstoff, Bioplastik und Biosprit herstellen.

TEXT **PETER HERGERSBERG**

Es war ein Kochwettbewerb mit wissenschaftlicher Nachwirkung. „Mein Chef und ich hatten eine Diskussion, was ein ordentliches Ragù ist“, sagt Valerio Molinari, der aus Italien stammt, und ergänzt mit gespielter Abscheu: „In Deutschland heißt das Bolognese – Ketzerei.“ Also verabredete sich der Forscher, der damals am Max-Planck-Institut für Kolloid- und Grenzflächenforschung promovierte, mit Markus Antonietti, seinem Direktor, zu einem Wettstreit in italienischer Kochkunst. In der kleinen Kaffeeküche der Abteilung bekochten die beiden gut 20 Kollegen nach ihren Rezepten. Ein Votum war nicht vorgesehen; allenfalls halb volle Teller am Ende des Abends hätten als Urteil gelten können.

Zuspruch gab es dann reichlich für beide Varianten, so unterschiedlich sie auch waren. „Als guter Wissenschaftler ist Markus Antonietti sehr experimentierfreudig – er nennt seinen Stil *fusion*“,

sagt Valerio Molinari. „Ich koche die Sauce dagegen einfach so, wie es schon meine Großmutter gemacht hat.“

Länger als die kulinarischen Ergebnisse des Wettstreits hielt allemal eine Idee vor, die beide Forscher an diesem Abend zum ersten Mal auf den Tisch brachten: der Gedanke, mit Geräten und Zutaten der Küche technische Chemie zu betreiben.

EINE MOTIVATION: EINFACH HERZUSTELLENDEN STOFFE

Eine Idee, die eigentlich naheliegt, schließlich findet in Kochtopf, Bratpfanne und Backform immer Chemie statt, und manche Köche haben schon vor fast 30 Jahren viel Aufhebens darum gemacht, dass sie ihre Kreationen mit Methoden aus chemischen Laboren veredelten – Molekularküche nennt sich das dann. Aber umgekehrt? Ein Pizzaofen, eine Pastamaschine oder auch so ein extravagantes Utensil wie

ein Sous-Vide-Garer auf dem Labor-tisch? Und gar Grieß, Vanillin oder Eiweiß als Zutaten für Materialien aus nachwachsenden Rohstoffen? Davon hatten Valerio Molinari und Markus Antonietti noch nichts gehört, auch wenn Chemiker bei ihren Experimenten oft vom Kochen sprechen.

„Eine Küchenmaschine stellt die Temperatur natürlich nicht so präzise ein und lässt sich auch nicht so flexibel programmieren wie ein Laborgerät, das Substanzen für eine chemische Reaktion zusammenrührt und erhitzt“, erklärt Molinari. „Aber im Prinzip macht sie dasselbe und kostet nur einen Bruchteil.“ Damit ist der Forscher schon bei einer zentralen Motivation für das Kitchenlab, das er – jetzt als Leiter einer kleinen Forschungsgruppe – vor etwa vier Jahren aufbaute.

„Die chemische Industrie reagiert auf Entwicklungen aus der akademischen Forschung oft skeptisch“, sagt Molinari. Denn was Wissenschaftler stolz präsentieren, funktioniert zwar gut mit teurer Laborausstattung und den extrem reinen Chemikalien, wie sie nor-

Unverdauliche Backmischung: Potsdamer Forscher kneten aus Abfällen der Papier- und Lebensmittelindustrie einen Teig, der sich im Ofen in einen robusten Holzwerkstoff verwandelt.

malerweise in der Forschung verwendet werden. Aber unter großtechnischen Bedingungen lassen sich die tollen Neuerungen oft nicht umsetzen. „Mit den Küchengeräten und natürlichen Zutaten beweisen wir, dass unsere Materialien einfach herzustellen sind.“

Was die Potsdamer Forscher kreieren, ist zwar ungenießbar, könnte aber Möbelherstellern, der Kosmetikindustrie oder den Produzenten von Biotreibstoff schmecken. Nicht zuletzt, weil Valerio

Molinari und seine Mitarbeiter für ihre Rezepte seit Beginn vor allem auf nachwachsende Rohstoffe setzen, von denen sie manche sogar im Supermarkt kaufen.

RemixWood® etwa ist eine Spezialität aus dem Labor. Valerio Molinari hat das Material gemeinsam mit der ehemaligen Gruppenleiterin Nina Fechler entwickelt, die inzwischen an der Berliner Charité – Universitätsmedizin Berlin arbeitet. Der Werkstoff weist viele Eigenschaften von Holz auf, ist aber robuster

und lässt sich zu nahezu beliebigen Formen verarbeiten. Daher könnte er etwa Spanplatten in Möbelstücken ersetzen. Das Material empfiehlt sich auch als Alternative zu Plastik. Denn es ist nicht nur steifer, weniger leicht verformbar und kostengünstiger als manche weit verbreiteten Kunststoffe. Von den nachhaltigen Zutaten, die es enthält, gelten manche bisher gar als Abfall. „Außerdem setzt unser RemixWood®, anders als viele Spanplatten, kein Formaldehyd frei, da dieses in der Verarbeitung nicht benötigt wird“, sagt Molinari.

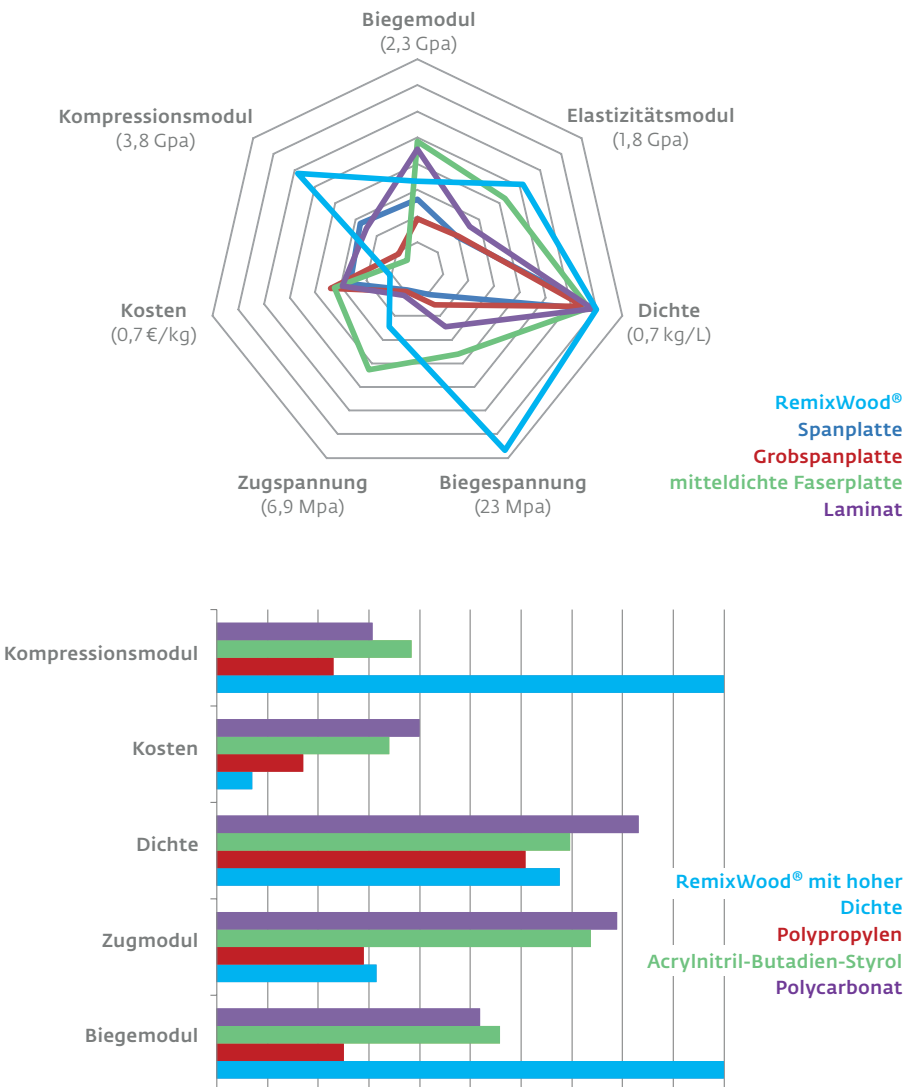
EIN HOLZWERKSTOFF AUS ABFÄLLEN DER INDUSTRIE

Die Entwicklung des Materials führen Molinari und Shekova im Zeitraffer vor. Shekova testet die Ideen von Molinari und seinen Kollegen in systematischen Experimenten. „Sie ist viel organisierter als ich“, sagt Molinari, während die Labortechnikerin verschiedene Teile ansetzt: RemixWood® und einige seiner Vorläufer in Rohform. Dafür wiegt sie in einer Kunststoffschüssel zuerst Cellulose ab, die in dem Labor in einem großen Plastikeimer aufbewahrt wird. „Wir verwenden minderwertige Cellulose, die bei der Papierherstellung übrig bleibt“, erklärt Molinari „Sie bildet gewissermaßen das Gerüst unserer Materialien.“

Als weitere Zutat löffelt Irina Shekova, ebenfalls aus einem Eimer, ein gelb-

Oben Die Potsdamer Forscher haben RemixWood® und andere Holzmaterialien derselben Dichte mit Blick auf die Kosten und die mechanischen Eigenschaften verglichen. Ihr preiswertes Material zeichnet sich dabei durch hohe Kompressions- und Elastizitätsmodule aus. Das Modul ist ein Maß für die Kraft, die aufgewendet werden muss, damit sich ein Material auf die jeweilige Art verformen, also etwa komprimieren lässt. RemixWood® hält zudem eine sehr hohe Biegespannung aus, ehe es bricht.

Unten Im Vergleich mit verschiedenen Kunststoffen fallen die niedrigen Kosten, das hohe Kompressionsmodul und das hohe Biegemodul von RemixWood® auf.





Fotos: Valerio Molinari / MPI für Kolloid- und Grenzflächenforschung (2)

Wandelbarer Werkstoff: Irina Shekova stellt Proben von RemixWood® mit verschiedener Dichte her, indem sie den Teig unterschiedlich stark presst. Ein Bestandteil des Materials ist Lignin, das aus den holzigen Bestandteilen von Pflanzen, also auch Nusschalen oder Bambus, stammt (unten).

liches Pulver: Gluten, das Mühlen aus manchen Mehlen entfernen, weil es einigen Menschen den Darm verklebt und die Betroffenen dann keine Nahrung mehr verdauen können. Was für manchen lebensbedrohlich werden kann, macht den Stoff für Valerio Molinari gerade interessant. Denn bei Gluten handelt es sich um einen Mix verschiedener Proteine, die im trockenen Zustand spröde sind, im feuchten zäh und klebrig.

Cellulose und Gluten mischen Shekova und Molinari mit weiteren Zutaten zu verschiedenen Teigen. Die Mischungen streichen sie in quadratische Hohlformen, die an Modellen für Spekulatiusgebäck erinnern, auch wenn sie kein Muster in den Teig prägen. Gebacken wird das Material in einem Gerät, das in einer Küche kaum zu finden sein dürfte: eine Kombination aus Ofen und Presse, die an einen der grimmigen Nussknacker aus dem Erzgebirge erinnert. In das beheizbare Maul der Presse legt Molinari die mit Teig gefüllten Hohlformen und lädt mit dem Hebel der hydraulischen Presse zehn Tonnen auf die Backformen. Unter solchem Druck wird das Material sehr dicht und fest. Wenn die Forscher ein leichteres Material herstellen wollen, arbeiten sie mit entsprechend weniger Last.

In komprimierter Form werden die Teige nun bei 135 Grad Celsius gebacken. Dabei breitet sich im Labor ein appetitlicher Duft aus. Denn eine der diversen Backmischungen hat Molinari mit Vanillin als weiterem Klebstoff angesetzt, weil Gluten allein die Kettenmoleküle der Cellulose noch nicht gut genug zusammenbindet. Auch das Gewürz Curcumin haben die Forscher zu diesem Zweck getestet. Es gibt dem Teig



eine intensiv gelbe Farbe und eine würzige Note. „Wir haben zunächst Vanillin und Curcumin verwendet, weil diese Substanzen wie gängige Klebstoffe eine chemische Gruppe namens Phenol enthalten“, erklärt Molinari.

Doch die beiden Aromen ergaben noch nicht die optimale Rezeptur. Mit Vanillin entsteht zwar ein brauchbares Material, das Gewürz ist aber vergleichsweise aufwendig herzustellen und deshalb eher für Kipferl als für Möbel geeignet. In Konkurrenz zur Küche stünde auch der Einsatz von Curcumin als Bindemittel im RemixWood®, es liefert darüber hinaus aber nur bröckeliges Gebäck. „Deshalb kamen wir schließlich auf die Idee, Lignin einzusetzen, das ebenfalls reichlich Phenolgruppen besitzt“, sagt Molinari. Lignin macht Stroh und Holz steif und fest und bleibt als Abfall zurück, wenn Cellulose und Hemicellulose aus der Lignocellulose gelöst und etwa zu Papier verarbeitet werden.

FLAMMSCHUTZ AUCH IM INNEREN DES MATERIALS

Für den Einsatz in ihrem Holzwerkstoff behandeln die Forscher das Biopolymer chemisch, damit es sich mit den anderen Komponenten besser verbindet. Aus dem präparierten Lignin, Cellulose und Gluten wird ein tiefbrauner Teig geknetet, der appetitlich wie ein kräftiges dunkles Brot aussieht. Gebacken ist die Mixtur aber härter als eine Spanplatte – man dürfte sich daran die Zähne ausbeißen. Lignin mit seinen langen, weitverzweigten Kettenmolekülen macht das Material nicht nur besonders stabil, es ist als Abfallprodukt der Papierindustrie auch reichlich und preisgünstig zu haben. Dass zwei der Komponenten aus Holz stammen, brachte Nina Fechler auch auf den Namen RemixWood®: neu zusammengemischtes Holz.

Das Material kann nicht nur mit seiner Stabilität und Nachhaltigkeit punkten, es lässt sich auch mit diversen Ex-

tras ausstatten. „Weil wir RemixWood® aus Pulvern herstellen, können wir ihm verschiedene Eigenschaften geben“, sagt Molinari. Gewöhnlich lassen sich Holzwerkstoffe nur an der Oberfläche etwa mit Flammenschutzmitteln oder Fungiziden behandeln. Sobald ein Gegenstand abgenutzt wird, geht auch der entsprechende Schutz verloren. „Unser Material hat die Eigenschaften auch innen drin“, sagt Molinari. Auch durchfärben ließe es sich oder gar mit magnetischen Partikeln in einen hölzernen Magneten verwandeln.

Wegen der zahlreichen Vorteile sehen Nina Fechler und Valerio Molinari für RemixWood® gute Chancen auf dem Markt. „Wir hoffen, dass ein Unternehmen die Entwicklung aufgreift und das Material so eine praktische Anwendung als Ersatz für Spanplatten in Möbeln oder für herkömmliche Kunststoffe findet“, sagt Valerio Molinari.

An einer Alternative zu Kunststoffen aus fossilen Rohstoffen arbeitet auch Nikki Man, genauer gesagt: an Folien aus Bioplastik. Auch sie rührt verschiedene Teige an, um die Eigenschaften unterschiedlicher Rezepturen zu demonstrieren. Dafür mischt sie Glutenglycerol, das im trockenen Zustand weniger spröde ist als gewöhnliches Gluten, mit anderen Komponenten, etwa Lignin. Aber auch einen Ansatz mit Chitosan, einem stickstoffhaltigen Mehrfachzucker, der aus dem Chitin der Panzer von Garnelen gewonnen wird, bereitet sie zu. Die Chemikerin verrührt die Teige gut und rollt sie zur Größe von Marzipankugeln zusammen. Diese Kugeln drückt sie dann zwischen zwei Metallplatten platt, schiebt sie in den Nussknackerofen und quetscht sie dort auf Foliendicke. Während die Mixturen zu Bioplastik verschmelzen, präsentiert Nikki Man ein weiteres Projekt.

„Wir möchten stabile Emulsionen zum Beispiel für die Kosmetikherstellung und die Pharmazie erzeugen“, erklärt die Chemikerin. In vielen Emul-

sionen schwimmen Öltröpfchen fein verteilt in einer wässrigen Umgebung – ohne Hilfsmittel aber meistens nicht lange. So trennen sich Öl und Essig in einer Salatsauce rasch voneinander, wenn die Emulsion nicht durch Senf stabilisiert wird. Kosmetische oder pharmazeutische Cremes enthalten als Stabilisator oft Mikroplastik, das dann irgendwann die Gewässer verschmutzt und auch in die Nahrungskette des Menschen gelangen kann.

EINE EMULSION WIRD IM SOUS-VIDE-GARER STABILISIERT

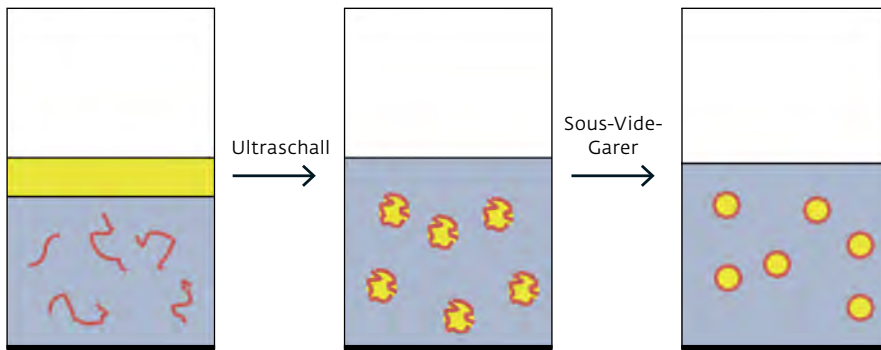
Auf der Suche nach einer Alternative für die umweltschädlichen Plastikpartikel kombiniert Nikki Man Laborchemie mit Methoden der Kochkunst und macht dabei Anleihen bei Mayonnaise. Dieser Mix von Öl und Essig oder Zitronensaft wird erst durch Lecithin und Proteine aus dem Eigelb zu einem cremigen Genuss. Auf den stabilisierenden Effekt von Proteinen setzt die Chemikerin auch in ihren Öl-in-Wasser-Emulsionen, indem sie das Eiweiß Albumin aus dem Blutserum von Rindern in dem Gemisch verrührt. In die Mischung tunkt sie einen Ultraschallstab, wie er in Laboren verwendet wird, um besonders homogene Emulsionen zu erzeugen. Die unhörbar feinen Druckwellen zerschlagen das Öl in Mikro- oder gar Nanotröpfchen, welche von Proteinmolekülen eingehüllt und alle ungefähr gleich groß sind.

Jetzt muss die Emulsion noch eine Prozedur mitmachen, die Nikki Man aus der Küche abguckt hat. „Das ist unser Sous-Vide-Garer“, sagt sie Forscherin stolz und zeigt auf einen Stab, der in einer gläsernen, wassergefüllten Wanne von der Größe eines Mikrowellenofens hängt. Mit solchen Geräten haben zuerst französische Köche in Vakuum eingeschweißtes Fleisch zubereitet, damit es bei Temperaturen unter 100 Grad Celsius besonders zart wird. Nikki Man ver-

Plastik aus nachwachsenden Rohstoffen: Nikki Man verarbeitet verschiedene Zutaten zu Folien. Gluten und Glycerol ergeben dabei ein transparentes Material.

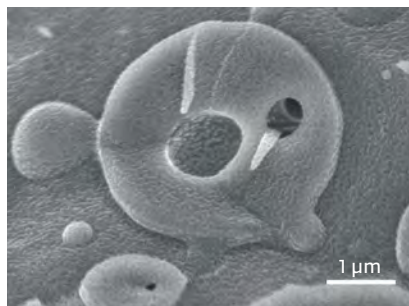
wandelt in dem mäßig temperierten Wasser die Proteinhüllen ihrer emulgierten Öltröpfchen in stabile Schalen und macht die Emulsion auf diese Weise haltbarer. Zwar gibt es auch Laborgeräte, die Wasserbäder konstant und präzise temperieren, sie kosten allerdings ein Vielfaches der Küchenvariante.

Während die Forscherin die Sous-Vide-Zubereitung erklärt und auf ihrem Rechner Bilder zeigt, die ein Rasterelektronenmikroskop von den ölgefüllten Proteinkugeln gemacht hat, ist auch das Bioplastik in der Ofenpresse fertig geworden. Die ockergelbe, mit dunklen Punkten gesprenkelte Folie aus Glutenglycerol und Lignin löst sich kaum von der Trägerplatte, ohne zu brechen, und splittert schon beim Versuch, sie zu bie-



● Öl ● Wasser ● Protein

In einer Mischung aus Öl, Wasser und Protein erzeugt ein Ultraschallgerät Öltröpfchen einheitlicher Größe, die mit Protein umgeben sind. Die mäßige Hitze eines Sous-Vide-Garers stabilisiert anschließend die Proteinhüllen und damit die gesamte Emulsion. Die Größe der Öltröpfchen hängt von der Ölmenge in dem Gemisch ab. Die Aufnahme eines Rasterelektronenmikroskops (rechts) zeigt ein Öltröpfchen in einer Mischung mit 30 Prozent Öl.



gen. Die Variante mit Chitosan, rotbraun und durchscheinend, macht sich da deutlich besser, ist aber auch noch nicht elastisch genug für reißfeste Verpackungen. „Wir möchten jetzt eine chemisch abgewandelte Form von Lignin testen, die sich mit den anderen Komponenten besser mischt und deshalb weniger Sollbruchstellen enthält“, sagt Nikki Man.

Wenn der Plan aufgeht, haben die Forscher einen Weg gefunden, eine flexible Variante von RemixWood® zu verarbeiten. Biegsam ist der Holzwerkstoff selbst nämlich nicht, wie Valerio Molinari und Marius Bäumel feststellen mussten. „Um das zu testen, haben wir extra eine Pastamaschine angeschafft“, sagt Molinari. Mit dem Gerät haben sie den Teig des Materials zu Spaghetti, Tagliatelle und Penne gepresst. In rohem Zustand ließen sich die Nudeln auch gut verformen, Molinari hat sogar ein Band mit Zopfmuster daraus gefloch-



Katalytische Pasta: Valerio Molinari (oben links) und Marius Bäumel pressen einen Teig, der viel Weizengrieß enthält, zu dicken Spaghetti. Die zerschnittenen Nudeln rösten sie und erhalten so sehr poröse Pellets (rechts). Diese dienen als Trägermaterial für einen Katalysator, der die effiziente Produktion des Biosprits DMF ermöglicht.



ten. Als das Material aus dem Ofen kam, war es mit der Flexibilität jedoch vorbei, schon unter sanftem Druck zerbröselte das Flechtwerk.

Der Apparat aus dem italienischen Kücheninventar erwies sich trotzdem als gute Investition, denn inzwischen haben die Forscher ein Nudelrezept mit einer vielversprechenden Anwendung erfunden. Katalytische Pasta nennen sie ihre Kreation. Sie kann als chemischer Moderator etwa für die Produktion von Biokraftstoffen und anderen Bioprodukten aus der Chemieindustrie die-

nen, die aus ungenießbaren Bestandteilen von Pflanzen erzeugt werden und damit nicht in Konkurrenz zu Nahrungsmitteln stehen.

Auf die Idee, Katalysatornudeln für die Produktion von Biosprit einzusetzen, kam Molinari gemeinsam mit seinem Büronachbarn Majd Al-Naji. Dieser leitet am Max-Planck-Institut für Kolloid- und Grenzflächenforschung ebenfalls eine Arbeitsgruppe und sucht nach Möglichkeiten, Chemie mit nachwachsenden Rohstoffen zu betreiben. „Wir wollen Abfälle der Land- und Forstwirt-

schaft in Treibstoffe und Ausgangsmaterialien für die chemische Industrie verwandeln“, sagt der Chemiker.

Für den Biosprit von morgen ist etwa Dimethylfuran, kurz DMF, ein Kandidat. Die Substanz hat eine fast 50 Prozent höhere Energiedichte als Bioethanol und eine Oktanzahl, dank derer sie für Verbrennungsmotoren sogar besser verdaulich ist als herkömmliches Benzin. Gewinnen lässt sich dieser Stoff aus der Lignocellulose etwa von Pflanzenabfällen. Aber Chemiker brauchen einen geeigneten Katalysator, um es aus

dem Biorohstoff zu erzeugen. Denn Lignocellulose ist für chemische Veränderungen nicht leicht zugänglich.

Immerhin wissen Chemiker schon länger, dass Nickel in Form von Nanopartikeln auf einem geeigneten Trägermaterial die Bildung von DMF sehr gut katalysiert. Als Unterlage für die Nickelkörner hat sich ein Gerüst aus Kohlenstoff und Stickstoff bewährt, das sich desto besser eignet, je mehr Oberfläche es den Ausgangsstoffen für die Reaktion bietet. Gesucht ist also ein Stoff mit unzähligen feinen Poren, und zwar in Form von Pellets, etwa so groß wie Kapseln aus der Apotheke. „Solche Pellets sind in großen Mengen sehr aufwendig herzustellen“, sagt Molinari. Er und Marius Bäumel haben da mit dem eigenwilligen Pastarezept Abhilfe geschaffen.

EIN EFFIZIENTER KATALYSATOR FÜR DIE BIOSPRIT-PRODUKTION

Für den Nudelteig verrühren die Forscher Hartweizengrieß mit etwas Glucose und Harnstoff. Die Komponenten verbinden sich nachher zu einem Gerüst aus Kohlenstoff und Stickstoff, wobei Ersterer vor allem aus dem Grieß stammt. Den haben die Forscher eigens aus Italien kommen lassen. „Für die Produktion in der Pastamaschine ist eine ganz bestimmte Konsistenz des Teiges erforderlich“, sagt Marius Bäumel. „Und original italienischer Hartweizengrieß bietet einfach die besten Eigenschaften für einen perfekten Teig.“

Als weitere Zutaten kommen noch Zinkoxid-Nanopulver und ein feines Salz – gewöhnliches Speisesalz tut es völlig – in den Teig. Die beiden Substanzen dienen als Platzhalter für die Poren und werden aus den fertigen Nudeln ausgewaschen oder verdampft. Den Teig pressen die Forscher mit der Pastamaschine in die Form dicker Spaghetti, die mit ihrer hellen Farbe noch recht appetitlich aussehen. Doch das ändert sich, wenn Molinari und Bäumel sie weiterverarbeiten.

Erst zerschneiden sie die langen Teigfäden in kurze Stummel, anschließend rösten sie diese. Wenn Marius Bäumel das Blech mit dem Pastabruch nach mehreren Stunden aus dem Ofen zieht, sind die Nudeln rabenschwarz und passen tatsächlich viel besser in den Kessel einer Bioraffinerie als auf den Teller. Sobald die Chemiker Zinkoxid und Salz aus den Poren entfernt haben, tränken sie die Katalysatornudeln noch mit der Lösung eines Nickelsalzes, aus dem sich in einer chemischen Reaktion die Nanoteilchen des Metalls bilden. „Aufgrund der hohen Porosität kommen wir auf eine Oberfläche von 700 Quadratmetern pro Gramm“, sagt Marius Bäumel. „Das entspricht bei zehn Gramm des Materials der Größe eines Fußballfeldes und ist mehr, als die meisten industriellen Katalysatoren erreichen.“

Dass sich die große Oberfläche auch in der DMF-Produktion bemerkbar macht, zeigen Studien von Al-Najis Team. Demnach arbeitet der Katalysator ausgesprochen effizient und ist da-

bei deutlich billiger als kommerzielle Konkurrenzprodukte. „Den Katalysator in Form von Pasta zu produzieren, ist also auch für die Industrie ein vielversprechender Ansatz“, sagt Majd Al-Naji. Im nächsten Schritt möchten die Wissenschaftler eine Pilotanlage errichten, um die DMF-Produktion im großtechnischen Maßstab zu testen. Wenn sich die Katalysatorpellets auch dort bewähren, ist ein weiterer Schritt hin zu einer wettbewerbsfähigen industriellen Produktion von Biokraftstoff getan.

Dass sich der Katalysator einfach herstellen lässt, dürfte dabei ein Pluspunkt sein. Und dieser Vorteil könnte auch den Appetit anderer Chemieunternehmen wecken. Möglicherweise wird katalytische Pasta dann nicht mehr nur im Küchenlabor zubereitet. So könnte die Forschung von Molinaris Team auch andere Chemiker inspirieren, mit Küchengeräten und nachwachsendem Ausgangsmaterial zu experimentieren statt mit teurer Laborausrüstung und fossilen Rohstoffen. ◀

AUF DEN PUNKT GEBRACHT

- Im Kitchenlab experimentieren Potsdamer Max-Planck-Forscher mit Küchengeräten und nachwachsenden Rohstoffen, darunter auch Abfälle von Industrieprozessen.
- Cellulose, Gluten und Lignin verarbeiten sie zu RemixWood®, einem robusten und kostengünstigen Holzwerkstoff. Aus ähnlichen Mischungen erzeugen sie Bioplastik.
- Proteine als Stabilisatoren könnten Mikroplastik in kosmetischen Produkten ersetzen.
- Mit katalytischer Pasta haben die Wissenschaftler einen einfach herzustellenden, effizienten Katalysator für die Produktion von Biotreibstoff gefunden.

GLOSSAR

Cellulose: Der Vielfachzucker, der ausschließlich Glucose enthält, ist wesentlicher Bestandteil der Zellwände von Pflanzen; aus ihm wird Papier hergestellt.

Gluten: Das Proteingemisch in Getreidekörnern ist im feuchten Zustand klebrig und elastisch; es macht Teig knetbar.

Hemicellulose: Vielfachzucker, der aus verschiedenen Zuckern aufgebaut wird und ebenfalls in Zellwänden von Pflanzen enthalten ist.

Katalysator: Substanz, die eine chemische Reaktion beschleunigt beziehungsweise in eine gewünschte Richtung lenkt und dabei nicht verbraucht wird.

Lignin: Biopolymer, das für die Stabilität von Holzzellen entscheidend ist.

Bus auf Bestellung

Auf dem Land kommt man ohne das eigene Auto meist kaum vom Fleck. Denn entweder gibt es gar keinen Nahverkehr, oder Linienbusse fahren nur selten. Ein Team um den Physiker **Stephan Herminghaus**, Direktor am Göttinger **Max-Planck-Institut für Dynamik und Selbstorganisation**, hat deshalb mit dem EcoBus ein System entwickelt, bei dem Kunden einen Bus direkt vor ihre Tür bestellen können. Das Besondere: Anders als viele Rufsysteme soll der EcoBus dem Nahverkehr keine Kunden abgraben, sondern das bestehende Liniennetz ergänzen.

TEXT **TIM SCHRÖDER**

Mensch, das ist der Jackpot heute, nur drei Minuten Wartezeit“, sagt der junge Mann, der am Orts- eingang von Clausthal zusteigt. Sein Auto ist gerade in der Werkstatt, deshalb fährt er seit einigen Tagen morgens mit dem EcoBus zu seinem Kiosk unten in der Stadt. „Ich sehe den Bus hier immer vorbeifahren“, sagt er während der Fahrt, „und dachte mir, dass ich den einfach mal ausprobieren.“ Das sei ja schon super, meint er, für 2,70 Euro bringe ihn der Bus direkt vor die Tür.

Der kleine Bus kurvt die steile Straße hinab nach Clausthal hinein. Der junge Mann erzählt weiter: „Zu Hause in der Türkei gibt es so kleine Busse überall. Ist schon lustig, dass man hier erst jetzt auf die Idee kommt.“ Die Busse, die in der Türkei Dolmuş heißen, halten zwar auf Handzeichen überall, aber anders als der EcoBus nur an fixen Routen und nicht auf Vorbestellung. Der Kioskbesitzer

bleibt jedenfalls nur wenige Minuten an Bord, bis der Bus unten in der Stadt vor seinem Lädchen hält. Beim Aussteigen winkt er kurz Torsten Keck zu, dem Busfahrer. „Schönen Tag noch.“

DER BUS KOMMT DORTHIN, WO MAN IHN BRAUCHT

Torsten Keck fährt weiter durch die Straßen mit den hübschen Fachwerkhäusern zu seinem nächsten Stopp. Einen festen Fahrplan hat er nicht. Welche Haltestelle er als nächste ansteuert, liest er von einem Tablet ab, das rechts neben der Gangschaltung in einer Halterung klemmt. Torsten Keck wirft kurz einen Blick drauf. „Ah, okay, der nächste Fahrgast steigt hinter der Marktkirche ein.“

Alle paar Minuten gibt das Tablet ein leises „Ping“ von sich, wenn sich ein neuer Kunde meldet, der irgendwo zwischen Clausthal, Goslar und Osterode abgeholt werden möchte. Die Fahr-

wünsche werden Torsten Keck von einem zentralen Server per Mobilfunk auf sein Tablet geschickt. „Das hier ist die Liste der nächsten Stopps“, erklärt er und tippt auf den Bildschirm. „Die neuen Kunden schiebt mir das System irgendwo hinein, wo ich in den nächsten Minuten vorbeikommen werde.“

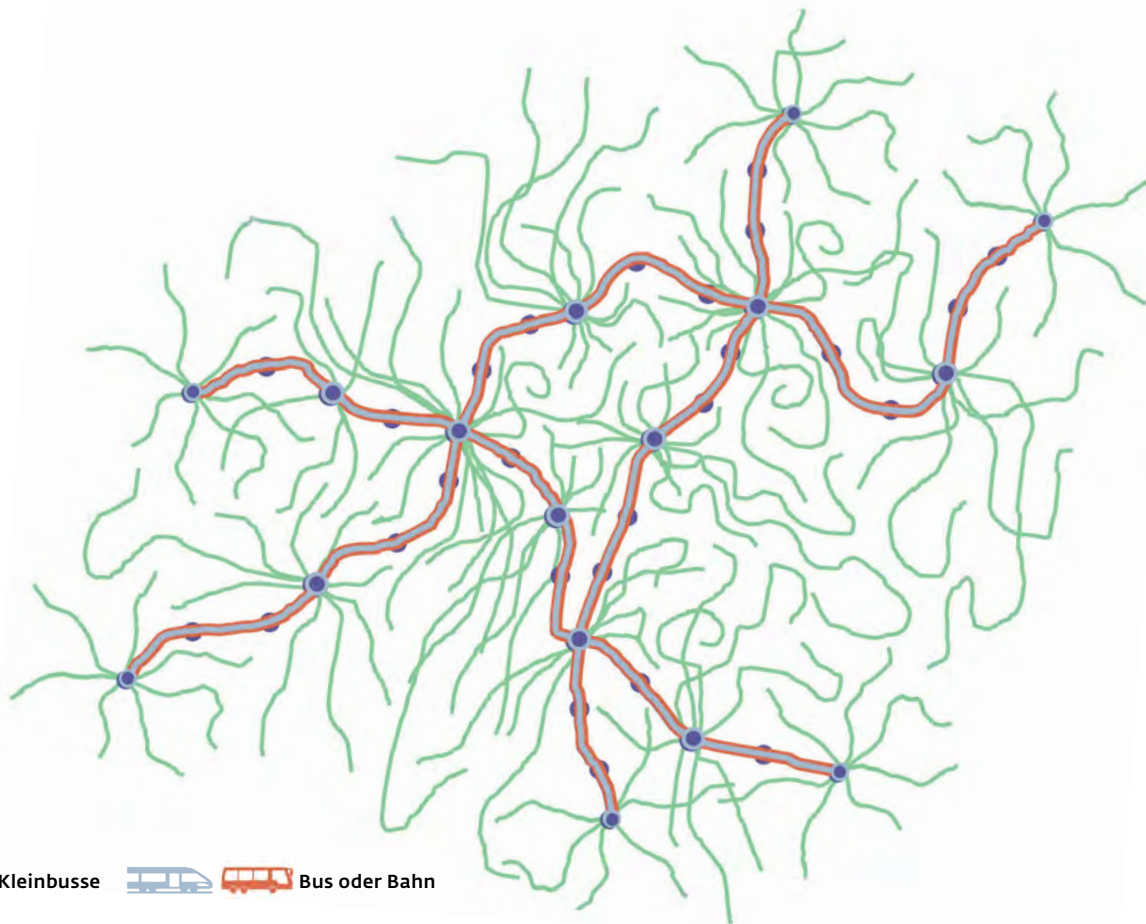
Die EcoBusse sind seit Mitte August im Harz unterwegs. Derzeit sind es acht, jeder mit acht Sitzplätzen. Einige können sogar Rollstuhlfahrer mitnehmen. „Wir haben bereits Stammgäste, vor allem ältere Leute. Freitags und samstags steigen viele junge Leute zu“, sagt Torsten Keck. Dann sind die Busse bis zwei Uhr nachts unterwegs. Er hatte auch schon eine Gruppe junger Männer, die lauter Grillsachen eingeladen haben. Die hat er zu einer Grillhütte im Grünen gefahren. Der EcoBus hatte Ende 2018 rund 6500 registrierte Nutzer – mehr als zehn Prozent der Bevölkerung im Pilotgebiet. Die Kunden buchen die Fahrten per Smartphone-App, über die Website



„Sie sind die Haltestelle!“ Im Sinne dieses Slogans holt der EcoBus Fahrgäste dort ab, wo sie es möchten – auch irgendwo an der Landstraße.

www.ecobus.jetzt oder per Telefon. Bislang ist der EcoBus noch ein Pilotprojekt, das ein Forscherteam des Göttinger Max-Planck-Instituts für Dynamik und Selbstorganisation auf den Weg gebracht hat. Die Deutsche-Bahn-Tochter Regionalbus Braunschweig, der Zweckverband Verkehrsverbund Süd-Niedersachsen und der Regionalverband Großraum Braunschweig betreiben als Partner die Busse und stellen die Fahrer an.

Auf der Schiebetür der Busse steht der pfiffige Slogan: „Sie sind die Haltestelle!“ Der Spruch macht in wenigen Worten klar, worum es geht. Statt wie üblich zur Haltestelle zu laufen, um dort auf einen Linienbus zu warten, ruft man den Bus dorthin, wo man ihn braucht. Und da heute die meisten modernen Smartphones eine GPS-Funktion haben, kann man den Bus selbst an entlegene Orte bestellen: zu Wanderparkplätzen, zu Ausflugslokalen oder eben zu Grillhütten, die weitab der Hauptstraßen liegen. >



 Flexible Kleinbusse   Bus oder Bahn

„Letztlich wollen wir mit dem EcoBus dazu beitragen, den Verkehr mit privaten Autos zu verringern, indem sich mehrere Leute Fahrten teilen“, sagt Stephan Herminghaus, Physiker und Direktor am Max-Planck-Institut für Dynamik und Selbstorganisation. Er hatte die Idee zum EcoBus-Projekt. „Das Prinzip besteht darin, dass Fahrgäste auf einer Strecke zusteigen. Anders als beim Carsharing teilt man sich hier nicht ein Auto, sondern die Fahrt. Wir nennen das Ridesharing.“

Natürlich sei die Idee des Ridesharing nicht neu, räumt Stephan Herminghaus ein. So gebe es schon seit längerer Zeit Rufbusse, die nach einem ähnlichen Prinzip nacheinander Fahrgäste aufpicken. Und auch bei modernen Fahrdiensten wie Uber oder dem von Volkswagen betriebenen Moia könne man Fahrzeuge per Smartphone zu jeder Zeit an jeden Ort bestellen.

„Das Problem besteht darin, dass all diese Dienste weitere Fahrzeuge auf die Straße bringen. Letztlich wird der Straßenverkehr dadurch kaum entlastet“, sagt Herminghaus. Im Gegenteil: „Sol-

che Angebote ziehen dem sehr umweltfreundlichen öffentlichen Personennahverkehr die Gäste ab und verlagern den Transport auf viele Autos.“ Welche Blüten dieser Trend treiben kann, weiß Stephan Herminghaus aus eigener Erfahrung, die er in der indischen Großstadt Bangalore gemacht hat. Einen großen Teil des Verkehrs machen dort seit einiger Zeit Leerfahrten von Autos aus, die für Uber oder das indische Pendant Ola unterwegs sind. „Das sind meist Fahrer, die auf dem Weg zu ihrem nächsten Kunden sind. Aber genau so sollte die Zukunft nicht aussehen.“

DER ÖFFENTLICHE NAHVERKEHR WIRD GESTÄRKT

Der EcoBus will das Gegenteil erreichen. Er soll die Menschen aus den Autos holen und zum öffentlichen Nahverkehr bringen. Dessen Busse sind bislang oft unattraktiv, weil manche Dörfer gar nicht an den Nahverkehr angebunden sind oder Busse selten fahren. Viele setzen daher aufs Auto. Und so sitzen heute in vielen großen Über-

landbussen oftmals nur wenige Fahrgäste. Geisterbusse nennt die Branche solche Touren, bei denen die Nahverkehrsunternehmen eher draufzahlen. „Der EcoBus, den ich zum Wunschtermin an einen bestimmten Ort bestelle, kann diese Lücke in Zukunft füllen“, sagt Stephan Herminghaus. „Er dient nicht zuletzt als Zubringer zum etablierten Nahverkehrsnetz – zum Bahnhof oder zur nächsten Buslinie. Der öffentliche Nahverkehr wird dadurch gestärkt und eben nicht geschwächt.“ Deshalb wird der EcoBus auch von den Nahverkehrsunternehmen in Südniedersachsen selbst getragen. Er ergänzt das bestehende Netz.

Auf den ersten Blick scheint das Thema EcoBus wenig mit der Forschung am Göttinger Institut zu tun zu haben. Dort beschäftigen sich die Wissenschaftler mit Strömungen, mit der Selbstorganisation von Netzwerken aus lebenden Zellen oder mit dynamischen Netzen wie dem Stromnetz der Zukunft.

„Doch letztlich ist auch der Autoverkehr eine Strömung“, sagt Stephan Herminghaus – „eine besondere Form der

Linke Seite Im Verkehrskonzept, für das der EcoBus steht, transportieren solche flexiblen Zubringer Fahrgäste zu den Haltestellen des Linienverkehrs von Bus oder Bahn.

Diese Seite Stephan Herminghaus und die Idee des Ridesharings: Menschen teilen sich nicht ein Auto wie beim Carsharing, sondern eine Fahrt.



Strömung.“ In Flüssigkeiten strömen alle Teilchen für gewöhnlich in dieselbe Richtung. Beim Straßenverkehr sei das anders, erklärt er. Zwar gebe es auch hier einen gewissen Strom in eine bestimmte Richtung, dem die Fahrzeuge folgen, aber selbstverständlich könnten Fahrzeuge von dieser Hauptrichtung abweichen. „Wir sprechen hier von aktiven Fluiden, bei denen die Teilchen eine Eigenbewegung aufweisen“, erklärt Herminghaus. „Das ist wie bei Planktonorganismen. Die werden zwar von großen Wasserströmungen in eine bestimmte Richtung transportiert, können durch Ruderbewegungen aber die Richtung variieren.“ Das komplexe Phänomen Straßenverkehr ist dem Strömungsforscher Herminghaus also nicht fremd.

Auf die Idee zum EcoBus-Projekt kam er vor mehreren Jahren. Auf dem Weg ins Institut überquerte er mit dem Fahrrad damals täglich die mehrspurige Reinhäuser Landstraße, eine der großen Ausfallstraßen in Göttingen. „In fast jedem Auto sitzt hier zu Stoßzeiten nur eine Person. Ich habe mir die Frage gestellt, wie man das ändern kann, wie

sich die Leute aus den Autos in Bus und Bahn bewegen lassen.“ Der EcoBus ist seine Antwort: die Menschen dort abholen, wo es bislang kaum eine Alternative zum Auto gibt.

ACHT BUSSE MIT DEM PROBLEM DES HANDLUNGSREISENDEN

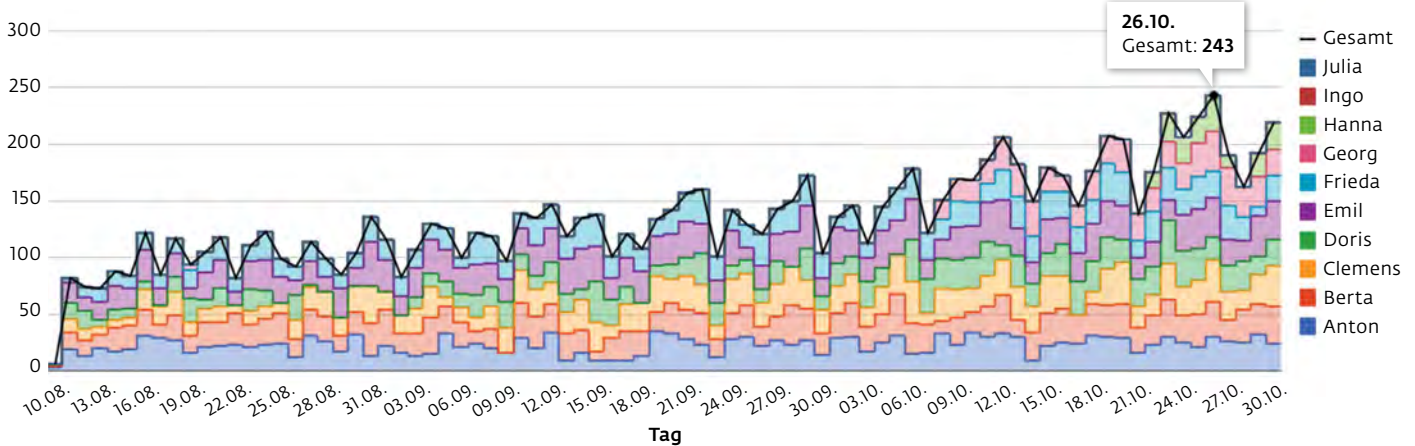
Die Technik hinter diesem Service ist so komplex, dass Stephan Herminghaus eigens ein ganzes Forscherteam aus Ingenieuren und Physikern zusammenstellen musste. Denn um EcoBusse auf die Reise zu schicken, muss man gleich mehrere Herausforderungen meistern. So ist das EcoBus-Konzept mit einem klassischen mathematischen Problem verwandt: Bei diesem seit den 1930er-Jahren bekannten „Problem des Handlungsreisenden“ besteht die Aufgabe darin, den kürzesten Weg zwischen mehreren Städten zu finden, die ein Handlungsreisender aufsuchen will. Doch je mehr Städte es sind, desto größer wird auch die Zahl der Alternativrouten. Die 15 größten deutschen Städte etwa lassen sich mit 43 Milliarden

verschiedenen Streckenkombinationen verbinden. Heute gibt es zahlreiche Algorithmen, die Lösungen für diese Optimierungsaufgabe liefern. Sie werden unter anderem in Navigationssystemen eingesetzt.

„Unsere Arbeit geht aber noch ein ganzes Stück über dieses Routenproblem hinaus“, sagt Tariq Baig-Meininghaus, der im EcoBus-Projekt intensiv an einer Lösung für die Streckenfindung gearbeitet hat. „Wir haben es ja nicht nur mit einem einzigen Handlungsreisenden zu tun, sondern mit vielen Fahrgästen, die abgeholt und wieder abgesetzt werden wollen. Außerdem müssen wir die Routen von derzeit acht Bussen aufeinander abstimmen.“ So sollte zum Beispiel ein Bus, der gerade in Richtung Clausthal-Zellerfeld unterwegs ist, nicht die Kunden mit dem Fahrtziel Goslar in der Gegenrichtung aufpicken – und umgekehrt. Und noch etwas: Die Route ändert sich permanent, weil ständig neue Fahrgäste einen Fahrwunsch schicken.

Tariq Baig-Meininghaus und seine Kollegen haben gut zwei Jahre gebraucht, um alle diese Anforderungen

Zahl der Fahrten



Wachsender Zuspruch: Von den zehn Bussen mit Namen wie Julia, Frieda oder Anton fahren derzeit täglich bis zu acht. Die Zahl aller Fahrten wuchs dabei seit Beginn des Pilotprojekts.

unter einen Hut zu bringen. Und obwohl es auf dem Markt bereits verschiedene Softwarelösungen gibt, war viel Handarbeit nötig. So haben in den vergangenen Jahren zwar viele Forschergruppen Algorithmen fürs Routing veröffentlicht – die meisten dieser Lösungen sind für den EcoBus aber zu langsam. „Wenn ein Kunde einen Bus bestellt, dann möchte er innerhalb weniger Sekunden wissen, wann ein Bus frei ist und wann er vorbeikommt“, sagt Tariq Baig-Meininghaus. „Ein Angebot sollte innerhalb von zwölf bis 15 Sekunden vorliegen, sonst empfindet man das System als zu langsam.“

Zusammen mit seinen Kollegen hat er das Problem so gelöst, dass das EcoBus-System tatsächlich innerhalb weniger Sekunden eine erste Antwort auf eine Kundenanfrage gibt; im Hintergrund aber arbeiten die Algorithmen weiter. Sie optimieren die Route und stimmen die Anfragen der vielen Kunden miteinander ab, wofür sie etwas länger brauchen. Der Kunde bekommt davon nichts mit. Die Göttinger haben das System auch dadurch schneller gemacht, dass sie die ganze EcoBus-Region in Untereinheiten aufgeteilt haben, für die zunächst detaillierte Rechnungen durchgeführt werden. Anschlie-

ßend konzertiert die Software alle Einzelgebiete und Zwischenergebnisse zu einem Ganzen.

WEITERENTWICKLUNG ZUR VERLÄSSLICHEN ANKUNFTSZEIT

Die Abstimmung aller Busse und Kunden oder das Timing – es gibt viele Schrauben, an denen die Forscher für ihr EcoBus-System drehen mussten. Dazu gehört vor allem auch, die Anfragen der Kunden in eine sinnvolle Reihenfolge zu bringen, damit sich die Fahrzeit des einzelnen Fahrgastes nicht übermäßig verlängert. Busfahrer Torsten Keck weiß, warum. „Ich hatte neulich einen Fahrgast, der fast eine Stunde im Bus saß, weil sich zwischendurch Fahrgäste angemeldet hatten, deren Haltestellen auf dem Weg lagen. Mit den kleinen Umwegen hat sich die Fahrt dann immer länger hingezogen – und irgendwann meinte der Passagier, dass er so langsam doch gern zu Hause ankommen würde.“

Die Göttinger Experten haben ihrem System durchaus eine maximale Reisezeit pro Fahrgast einprogrammiert. Weil im Pilotprojekt aktuell aber nur acht Busse unterwegs sind, dauert eine Reise eben manchmal bis zu einer

Stunde. In anderen Fällen müssen die Kunden noch recht lange warten, bis der nächste freie Bus vorbeikommt. „Ich habe auch schon einmal andert-halb Stunden auf den Bus warten müssen“, erzählt der junge Kioskbesitzer aus Clausthal. Je mehr Busse künftig unterwegs sind, desto schneller aber dürfte es gehen.

Hundertprozentig planbar ist der EcoBus für die Kunden derzeit also noch nicht. Auch weil die Busse nicht immer auf die Minute genau am Ziel ankommen. Für Projektleiter Stephan Herminghaus ist das der nächste Schritt. Er will das System in den kommenden Monaten so weiterentwickeln, dass es den Kunden eine verlässliche Ankunftszeit zuweist – zum Beispiel, damit sie pünktlich am Bahnhof in Goslar ankommen und ihren Anschlusszug erreichen können.

Eine punktgenaue Abfahrt vor der Haustür aber wird auch dann noch nicht möglich sein. „Eine derart umfassende Flexibilität wird sich mit zehn Bussen nicht erreichen lassen – dafür ist das Gebiet zwischen den drei Orten und mit seinen 63 000 Einwohnern einfach zu groß“, sagt Herminghaus. „Es wird zunächst so aussehen, dass wir dem Fahrgast eine sichere Ankunftszeit

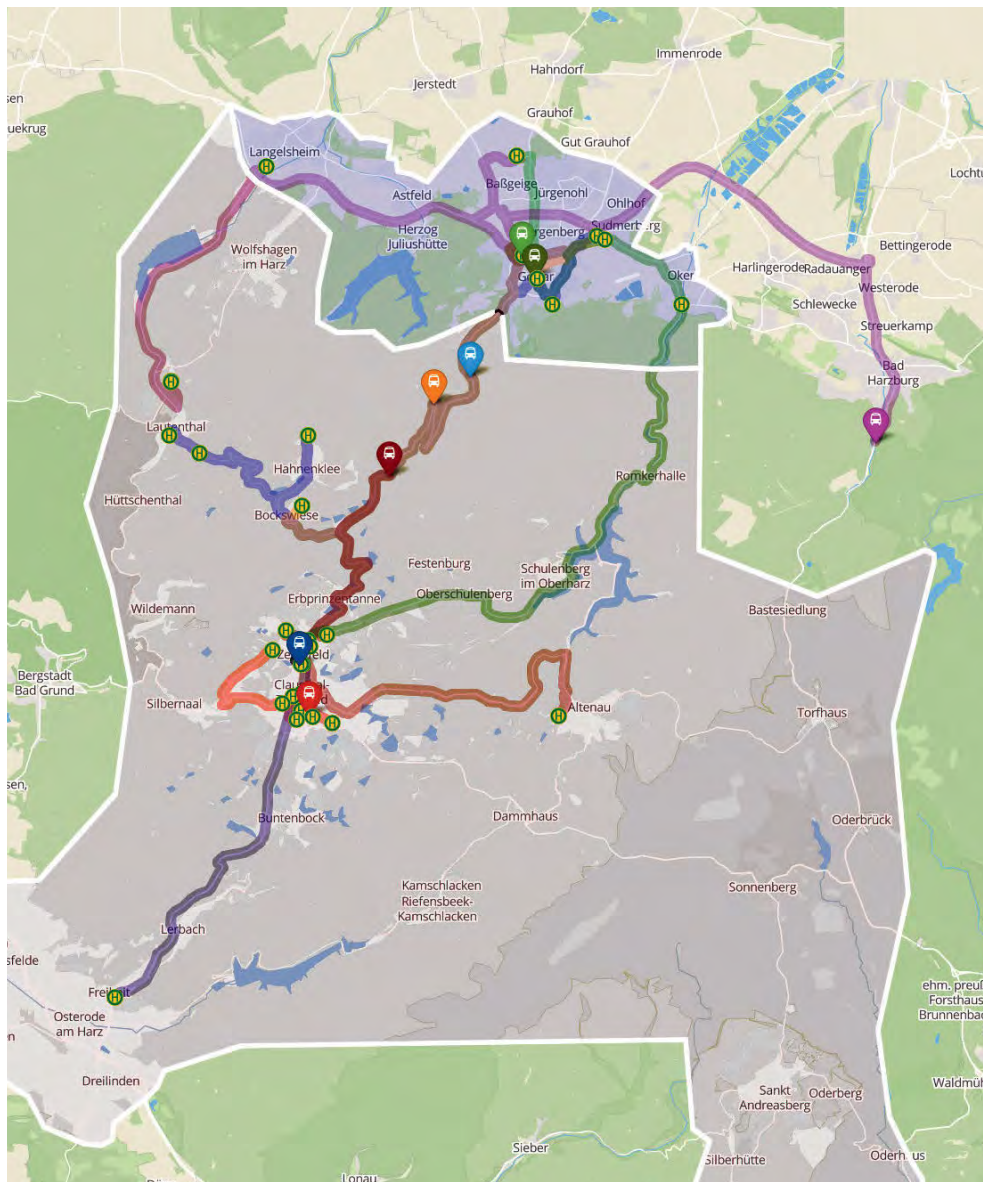


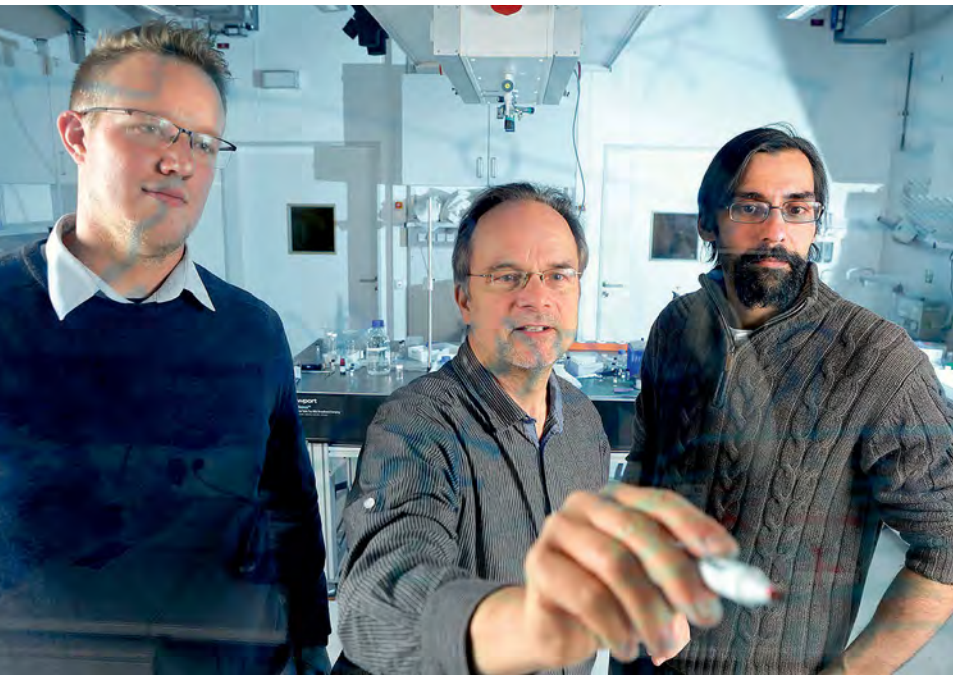
geben sowie einen Zeitraum, in dem wir ihn abholen – das wird machbar sein.“ Alternativ wäre eine Kooperation mit Taxiunternehmen denkbar. Ganz eilige Kunden könnten mit einem Taxi abgeholt werden und dann auf der Strecke irgendwo in einen EcoBus umsteigen, der sie weiter zum Bahnhof bringt.

MIT BÜRGERBETEILIGUNG ZU EINEM EINFACHEN SYSTEM

Zum EcoBus-Projekt gehört aber nicht allein die Software, die im Verborgenen alle Busbewegungen und Kundenanfragen synchronisiert, sondern auch das, was sichtbar ist. „Wir haben alles selbst entwickelt“, sagt der Elektroingenieur Christoph Brügge. „Die App und die Website, über die man die Fahrten buchen kann, und auch das Navigationssystem, das die Fahrer im Bus nutzen.“ Dafür haben Brügge und seine Kollegen auch öffentliche Veranstaltungen organisiert, bei denen sie die Menschen vor Ort gefragt haben, was sie von einem solchen System erwarten. „Wir wollten

Flexible Routen: Der EcoBus ist auch in ländlichen Gegenden unterwegs, in denen es keinen Linienverkehr gibt. Ein Beispiel für Strecken, auf denen die verschiedenen Kleinbusse an einem Tag fahren, zeigt die Karte. An den mit einem Haltestellen-Symbol markierten Orten haben sie bei diesen Touren für Fahrgäste gestoppt.





Maßgeschneiderte Mobilität: Christoph Brügge, Stephan Herminghaus und Tariq Baig-Meininghaus (von links) gehören zu dem Team, das den EcoBus entwickelt hat und immer noch weiter verbessert. Ein nächster Schritt ist, den Passagieren verlässlich mitteilen zu können, wann sie an ihrem Ziel ankommen werden.

das System möglichst einfach gestalten, damit vor allem auch ältere Menschen es nutzen mögen.“

Weil die Busse von den Nahverkehrsunternehmen selbst betrieben werden, sind auch die Tarife leicht zu durchschauen – und die Fahrkarten übertragbar. Die Fahrten kosten so viel wie in den Linienbussen. Eine Fahrt durch Goslar die üblichen 2,70 Euro, die Strecke von Clausthal nach Goslar 4 Euro. Zudem kann man im Bus unter anderem das Niedersachsenticket der Deutschen Bahn kaufen, um landesweit den Nahverkehr zu nutzen. „Am Anfang empfanden wir es als zusätzlichen Aufwand, die Fahrkartendrucker des Nahverkehrs in unser System zu integrieren“, sagt Stephan Herminghaus. „Inzwischen ist uns klar, dass das für die Kunden ein Vorteil ist, weil der Bus damit direkt in das Tarifsystem der Verkehrsverbände integriert ist.“

Stephan Herminghaus betont, dass er mit dem EcoBus das Rad nicht neu erfunden hat. „Ich bin mir ziemlich sicher, dass Unternehmen wie Uber ganz ähnliche Algorithmen nutzen – da greifen doch alle Entwickler auf ähnliche Werkzeuge zurück“, sagt der Forscher. „Aber leider lässt sich die Privatwirtschaft nicht in die Karten schauen, sodass wir letztlich doch ein ganz eigenes System aufsetzen mussten.“

ANDERE STÄDTE FRAGEN NACH DEM ECOBUS

Ein System, das offensichtlich ankommt, denn die Nahverkehrsunternehmen sind sehr interessiert. Ein Mitarbeiter aus dem Göttinger Team entwickelt derzeit für die Leipziger Verkehrsbetriebe eine EcoBus-Lösung, mit der in Kürze die exakte Ankunft der Fahrgäste realisiert werden soll. In Leip-

zig sollen dafür zunächst zwei EcoBusse eingesetzt werden. Der Test soll zeigen, dass der Bus perfekt mit dem Fahrplan der Linienbusse und Bahnen zusammenspielen kann.

„Andere Städte haben angefragt, wann wir das EcoBus-System endlich als Produkt und Service auf den Markt bringen werden“, sagt Herminghaus. Inzwischen habe er mit den Kollegen von Max-Planck-Innovation, dem zentralen Technologietransfer der Max-Planck-Gesellschaft, bereits ein entsprechendes Businessmodell ausgearbeitet. „Das Konzept ist attraktiv, denn das Risiko würde bei uns liegen. Wir streben an, das Rufsystem als Service auf eigene Kosten zu betreiben, und würden uns über geringe Gebühren, die mit jeder Buchung fällig werden, finanzieren“, erläutert der Forscher. Wann der EcoBus-Service zu kaufen sein wird, könne er aber noch nicht sagen.

Dass der Service funktioniert, wurde mit dem Pilotprojekt im Harz aber bereits gezeigt; ein Projekt, durch das die Forscher viel gelernt haben. „Vor allem auch, dass die Interaktion mit der realen Welt manchmal ganz anders aussieht, als es sich ein Physiker in der Theorie vorstellt“, sagt Tariq Baig-Meininghaus mit einem Lächeln. „Der Fahrgast kann zwar in der App mit einem kleinen Pfeil auf einer Karte genau angeben, wo er abgeholt werden will – trotzdem ist es für die Busfahrer manchmal schwer, die Leute zu finden. Dadurch kann sich die Abfahrt verzögern – so etwas muss man im System berücksichtigen.“ Und noch einer Hürde begegneten die Forscher bei dem Pilotprojekt im Harz: Funklöchern.

Auf dem Weg von Goslar nach Clausthal-Zellerfeld lenkt Torsten Keck seinen Bus durch die engen Kurven von Serpentina. Der Bus taucht in ein dicht bewaldetes Flusstal ab, keine Chance auf Handyempfang. Erst als der Bus nach Goslar hineinfährt, meldet sich das Tablet: „Pling. Pling. Pling. Pling.“ „Wir haben wieder Netz“, sagt Torsten Keck. „Jetzt trudeln die ganzen

neuen Anfragen von den Kunden ein.“ Und mit einem Mal sieht der Routenplan von Torsten Keck ganz anders aus. Der EcoBus-Server hat die Anfragen bereits in die richtige Reihenfolge gebracht. „Das ist das Schöne an der Arbeit hier. Man fährt ständig andere Routen. Und inzwischen habe ich ein paar schöne Ecken gesehen, die ich vorher noch gar nicht kannte.“ Kein Zweifel, der EcoBus bietet neue Perspektiven, nicht nur Fahrern wie Torsten Keck, sondern vor allem den Kunden und ländlichen Gegenden wie dem Harz, in denen heute noch allzu oft Geisterbusse unterwegs sind. ◀

AUF DEN PUNKT GEBRACHT

- In ländlichen Gegenden fahren Linienbusse nur selten, wenn überhaupt. Weil viele Menschen dann lieber gleich das Auto nehmen, sind die Busse, die es gibt, kaum besetzt.
- Forscher des Max-Planck-Instituts für Dynamik und Selbstorganisation haben daher den EcoBus entwickelt, um den öffentlichen Nahverkehr flexibler zu gestalten. Sie mussten dabei unter anderem ein besonders komplexes Problem der Routenfindung lösen. Niedersächsische Nahverkehrsbetriebe testen das System derzeit zwischen Goslar, Clausthal-Zellerfeld und Osterode am Harz.
- Der EcoBus holt Menschen dort ab, wo sie zusteigen möchten, und bringt sie genau zu ihrem Ziel. Für die Fahrten kann das System derzeit zwar noch keine exakten Abfahrts- und Ankunftszeiten angeben, weil die Route ständig an neue Anfragen angepasst wird. In Kürze soll es aber verlässliche Ankunftszeiten zusagen können – nicht zuletzt damit die Kunden Anschlussbusse und -züge erreichen.
- Der EcoBus will – anders als andere Rufbus-Systeme – die Anzahl der Fahrzeuge auf den Straßen reduzieren, weil er als Teil des öffentlichen Personennahverkehrs Linienbusse und Züge ergänzt.

Dr. Svenja Möllgaard,
Lab Managerin,
Beiersdorf

Jessica Schäfer,
Lab Managerin,
Beiersdorf

„academics vereint das Beste, was Wissenschaft und Wirtschaft bieten: Jobs für alle, die für die Forschung brennen und Lust haben, an der Entwicklung neuer Produkte mitzuwirken.“

academics ist der führende Stellenmarkt und Karrierebegleiter für alle, die Lust auf Wissenschaft und forschungsnahe Aufgaben haben. Denn hier treffen sich Wissenschaft und Wirtschaft!

Jetzt registrieren und vom kostenfreien Job- und Beratungsangebot profitieren: www.academics.de

Die verrückten Hüte der Schirmalge

Acetabularia ist mehrere Zentimeter lang – und besteht aus einer einzigen Zelle. **Joachim Hämmerling** vom Kaiser-Wilhelm-Institut für Biologie in Berlin-Dahlem und **Hans-Georg Schweiger** vom Max-Planck-Institut für Zellbiologie in Ladenburg widmeten der Schirmalge einen Großteil ihres Forscherlebens. Ein Ziel war es, hinter die Bedeutung des Zellkerns zu kommen.

TEXT **ELKE MAIER**

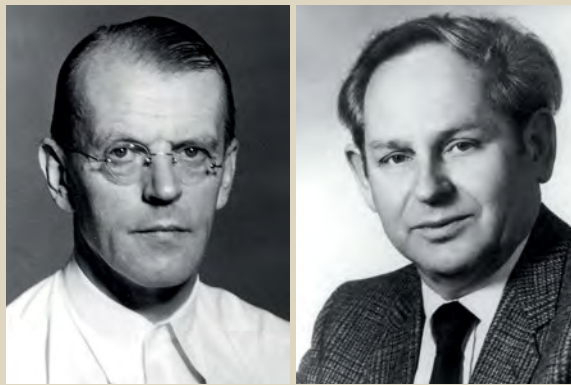
Berlin-Dahlem im Jahr 1931. Es war ein seltsames Pflänzchen, das der Biologe Joachim Hämmerling da vor sich hatte. Eigentlich sah es gar nicht aus wie eine Pflanze, sondern eher wie ein Schirm oder ein kleiner Pilz. An einem fingerlangen, dünnen Stiel trug es an einer Seite einen flachen, gerippten Hut, an der anderen ein wurzelähnliches Fußstück, um sich damit in der Brandungszone des Meeres am Untergrund zu verankern.

Hämmerlings Forschungsobjekt war eine Schirmalge der Art *Acetabularia mediterranea*. Max Hartmann, Direktor am Berliner Kaiser-Wilhelm-Institut für Biologie, hatte von einer Mittelmeerexkursion einige Exemplare dieser bis zu sechs Zentimeter langen Alge mitgebracht. Nun sollte sein Postdoktorand Joachim Hämmerling herausfinden, wie sie sich fortpflanzt.

Was *Acetabularia* für die Wissenschaftler interessant machte, war vor allem die Tatsache, dass das ganze Lebewesen aus einer einzigen Zelle besteht! Bei seinen Studien entdeckte Hämmerling, dass die Riesenzelle während ihrer gesamten Wachstumsphase auch nur einen einzigen Zellkern enthält, der größer ist als bei den meisten anderen Organismen und immer im Fußstück sitzt. Hämmerling erkannte, welches Potenzial für die zellbiologische Forschung in der Meerespflanze steckte.

Bei Vielzellern differenzieren sich die einzelnen Zellen und übernehmen unterschiedliche Aufgaben. Wie aber schafft es solch eine Riesenzelle, sich zu organisieren und fortzupflanzen? Und wie stellt sie sicher, dass sich an einem Ende der Hut ausbildet, am anderen das Fußstück?

An die damals verbreitete Vorstellung, dass geheimnisvolle Lebenskräfte die äußere Gestalt bestimmen, wollte Hämmerling nicht glauben. Er war überzeugt, dass stoffliche Informationsträger dahinterstecken. Um das zu beweisen, begann er, Schirmalgen systematisch in Stücke zu zerschneiden. Dank deren Größe brauchte es dazu nicht einmal besondere Instrumente – Schere und Pinzette genühten.



Pioniere der Zellbiologie: Joachim Hämmerling (links) und Hans-Georg Schweiger.

Die Alge überlebt es, selbst wenn sie zum wiederholten Mal zerschnitten wird: Vorausgesetzt, der Zellkern bleibt intakt, wird der abgeschnittene obere Teil immer wieder regeneriert. Der Kern lässt sich isolieren und in ein anderes – sogar artfremdes – *Acetabularia*-Fragment transplantieren, ohne seine Funktion einzubüßen. Das Pflänzchen war das perfekte Modell, um grundlegende Fragen der Zellbiologie anzugehen.

Um mehr über die Funktion des Zellkerns zu erfahren, entfernte Hämmerling den Kern einer jungen Alge, die bis dahin noch keinen Hut ausgebildet hatte. Und siehe da:

Entgegen allen Erwartungen starb die Pflanze nicht – ganz im Gegenteil. Ohne Kern lebte sie sogar länger als mit, führte allerdings ein Leben auf Sparflamme: Sie verharrte in ihrem momentanen Entwicklungsstadium, ohne sich jemals fortzupflanzen. Offenbar vermittelt der Zellkern Informationen, die für ein normales Leben wichtig sind.

In der Folge unternahm Hämmerling zahllose Versuche, in denen er Schirmalgen zerschnitt, entkernte und mit fremden Kernen bestückte. So experimentierte er auch damit, die Kerne verschiedener *Acetabularia*-Arten untereinander auszutauschen. Die Zelle bildete daraufhin die Hutform der Art, von welcher der Zellkern stammte. Setzte Hämmerling die Kerne zweier Arten in dasselbe kernlose Zellfragment, ließen sich sogar Mischhüte erzeugen.

Die vielleicht erstaunlichste Entdeckung aber machte er an einer Zelle, bei der er zunächst den Hut und eine Woche später auch den Kern entfernt hatte: Das abgeschnittene Ende war in der Lage, einen neuen Hut auszubilden, obwohl kein Kern mehr vorhanden war! Irgendwie musste also die Bauanleitung für den Hut aus dem Kern in das Zellplasma gelangt sein und dort überdauern haben.

Seine Versuche lieferten Joachim Hämmerling grundlegende Einblicke in die Wechselwirkung zwischen Zellkern und Zellplasma. Er erkannte, dass der Kern die Formbildung steuert, indem er „morphogenetische“ (formbildende) Substanzen an das Plasma abgibt. Heute weiß man, dass es sich dabei um Boten-Ribonuklein-

säuren handelt – Abschriften des genetischen Codes, die aus dem Zellkern ins Plasma geschleust werden, wo sie als Anleitung für die Proteinherstellung dienen.

„Hämmerling hat mit einfachen Mitteln gezeigt, dass Eigenschaften wie die äußere Gestalt vom Zellkern diktiert werden, noch bevor man überhaupt von der darin enthaltenen Erbsubstanz DNA wusste“, sagt Horst Bannwarth, ehemals *Acetabularia*-Forscher am Max-Planck-Institut für Zellbiologie in Ladenburg bei Heidelberg und heute Professor an der Universität zu Köln. „Erst im Jahr 1944 wies der Kanadier Oswald Theodore Avery nach, dass die DNA die Informationen für vererbte Eigenschaften speichert.“

Der Schirmalge ebneten Hämmerlings klassische Versuche den Weg in die Labors. Bald schon arbeiteten Wissenschaftler weltweit daran, die Vorgänge im Innern der Riesenzelle zu verfolgen. Am Max-Planck-Institut für Zellbiologie beschäftigte sich der Mediziner Hans-Georg Schweiger mit der Riesenalge. Schweiger hatte zuvor an kernhaltigen und kernlosen roten Blutkörperchen geforscht. Mit neuen, verfeinerten Methoden gewann er an der leicht manipulierbaren Schirmalge viele neue Einblicke in die Wechselwirkungen zwischen Zellkern und -plasma. Ganz besonders interessierte er sich dabei für biologische Rhythmen.

Ob im Verhalten oder Stoffwechsel – viele Lebensvorgänge laufen nach bestimmten Regelmäßigkeiten ab. Bei *Acetabularia* folgt die Fotosynthese einem Tagesrhythmus, wobei tagsüber viel, nachts wenig Sauerstoff gebildet wird. Diese Rhythmik bleibt auch dann bestehen, wenn die Alge konstantem Dauerlicht ausgesetzt ist. Es muss also ein innerer Taktgeber vorhanden sein. Bloß wo? Und wie funktioniert er?

Um das herauszufinden, zerlegten Schweiger und seine Mitarbeiter die Zellen einmal mehr in ihre Einzelteile. Über Messungen der Sauerstoffproduktion einzelner Zellen und Zellfragmente

AUGSBURGER ALLGEMEINE VOM 14. September 1977



Von dem inzwischen emeritierten Prof. Joachim Hämmerling vor 50 Jahren am Kaiser-Wilhelm-Institut für Biologie in Berlin in die Forschung als Objekt eingeführt, haben die von den italienischen Lagunen-Bewohnern liebevoll „Umbrella“ (Regenschirm) genannten Algen längst Furore gemacht.

bestimmten die Forscher die Fotosyntheseleistung. Dabei zeigte sich, dass das „Zeitgefühl“ in allen Teilen der Pflanze vorhanden ist – der Taktgeber sitzt also offenbar irgendwo im Zellplasma und nicht im Kern. Interessanterweise übernahm jedoch eine zuvor entkernte *Acetabularia*-Zelle den Rhythmus einer fremden, durch künstliche Beleuchtung zeitlich anders gepolten Zelle, deren Kern ihr eingepflanzt worden war – auch hier spielte also der Zellkern eine entscheidende Rolle.

Die Methoden waren mittlerweile viel ausgefeilter als noch zu Hämmerlings Postdoc-Zeiten, und so setzten die Forscher nun spezifische Hemmstoffe ein, um entweder die Transkription – das Abschreiben des genetischen Codes – oder die nachfolgende



Modellpflanze: Die Schirmalge *Acetabularia mediterranea* schmückt viele Stellen im Mittelmeer und ermöglichte grundlegende Einsichten ins Innere der Zelle.

Translation – die Übersetzung des Codes in Proteine – zu blockieren. Dabei stoppte die innere Uhr immer dann, wenn die Wissenschaftler auf Ebene der Translation eingriffen. Sie muss von einem oder mehreren Stoffen gesteuert werden, die bei diesem Prozess entstehen – spezifischen Proteinen.

Schweiger und seinem Team gelang es, ein Protein namens P230 als Schlüsselement der inneren Uhr auszumachen. Es sitzt bei *Acetabularia* in den Chloroplasten und steuert den tagesperiodischen Rhythmus der Fotosynthese. Gemeinsam mit seinem Bruder Manfred Schweiger, damals Biochemie-Professor an der Universität Innsbruck, veröffentlichte Hans-Georg Schweiger im Jahr 1977 das sogenannte gekoppelte Translations-Membran-Modell, das den Mechanismus dahinter erklärt und auch in anderen Organismen anwendbar ist.

Hans-Georg Schweiger zählt damit zu den Pionieren der Chronobiologie – ein Forschungsfeld, das in den vergangenen Jahrzehnten mächtig Fahrt aufnahm: Im Jahr 2017 bekamen die drei Amerikaner Jeffrey C. Hall, Michael Rosbash und Michael W. Young den Nobelpreis für die Erforschung des *period*-Gens, das bei der Fruchtfliege *Drosophila* die Tagesperiodik steuert.

Nach der Veröffentlichung seines Modells machte sich Hans-Georg Schweiger daran, das Protein P230 näher zu erforschen. Er starb jedoch unerwartet im Jahr 1986. Sein Mentor Joachim Hämmerling war bereits sechs Jahre zuvor gestorben. Die internationale *Acetabularia*-Gemeinde hatte zwei herausragende Wissenschaftler verloren.

In den 1990er-Jahren verschwand die Riesenalge allmählich aus den Labors. Ihre Anzucht ist aufwendig, ihr Lebenszyklus benötigt selbst unter optimalen Bedingungen mehrere Monate, und ohne Bakterien, die ihre Zellwand besiedeln, wächst sie nur schwächlich. Mit Modellorganismen wie Bäckerhefe, Fadenwurm oder Ackerschmalwand kann sie nicht konkurrieren – vor allem in unserer schnelllebigen Zeit, in der Wissenschaftler möglichst bald Ergebnisse vorweisen müssen.

Ein Comeback ist dennoch nicht ausgeschlossen: *Acetabularia* gehört zur Algenordnung *Dasycladales*, die es schon seit fast 600 Millionen Jahren auf der Erde gibt. „Heute leben nur noch 19 Arten“, sagt Sigrid Berger-Seidel, Professorin an der Universität Heidelberg und ehemalige Mitarbeiterin Hämmerlings und Schweigers. „Es wäre sehr interessant, Spezies mit unterschiedlichem Evolutionsalter zu vergleichen und mit neuen Methoden die Beziehungen zwischen dem Zellkern und den Organellen zu untersuchen.“ So könnte es durchaus sein, dass die urtümlichen Riesenalgen eines Tages in die Labors zurückkehren.



Wütender Weckruf

Michael Schrödl, **Unsere Natur stirbt**, Warum jährlich bis zu 60 000 Tierarten verschwinden und die verheerende Auswirkungen hat

221 Seiten, Verlag Komplet Media, München 2018, 18,00 Euro

Irgendwie ist es merkwürdig. Selbst in Kinofilmen, die einen Weltuntergang ankündigen, geht es zum Schluss doch meist gut aus. Auf so ein Happy End würde Michael Schrödl eher nicht setzen. Er befürchtet ein wirkliches Ende der Erde – wenn alles so weitergeht wie bisher. Der Forscher malt das Szenario eines sechsten großen Artensterbens in der Erdgeschichte, wenn die Tropenwälder brennen, die Korallenriffe immer mehr ausbleichen und die Insekten nacheinander sterben. Und er hat Angst, dass mit der schwindenden Vielfalt auch die Lebensgrundlage von uns Menschen zerstört wird.

Denn es sind nicht gerade wenige Arten, die gerade verschwinden, jedes Jahr gehen weltweit zwischen 20 000 und 60 000 unter. Schrödl macht das nicht nur traurig, sondern so wütend, dass er ein Buch darüber geschrieben hat. Von Berufs wegen ist der Artenforscher der Zoologischen Staatssammlung München so etwas wie ein Standesbeamter für Tierarten. Denn in seinem Job als Taxonom ordnet er neu entdeckte Arten in ein natürliches Register ein. In diesem Stammbaum des Lebens steht, wer mit wem verwandt ist und wer nicht. Oder wer die Vorfahren sind oder die Nachfahren.

Michael Schrödl liebt seine Arbeit, aber am liebsten entdeckt und ordnet er Schnecken. Wenn Gartenbesitzer über die schleimigen Plagegeister schimpfen, sieht er hier Tiere, die den Angriffen der Menschen schlau trotzen. In Deutschland – so rechnet er – werden von den etwa 330 Weichtierarten weniger als 40 Prozent überleben.

Aber auch von allen anderen geschätzten 1,5 Millionen Tierarten werden bis 2050 jedes Jahr ein bis zwei Prozent verloren gehen. Viele davon werden zudem aussterben, ohne dass sie je entdeckt wurden.

Schrödl hat aber nicht nur Angst, dass ihm die Objekte seiner Arbeit ausgehen. Er warnt vor einer globalen biologischen Krise, einer „Biokalypse“, die das Ende der Zivilisation bedeuten kann und auch uns in Europa nicht verschonen wird. So macht er klar, dass – anders als in Kinofilmen – eine Art, die einmal ausgestorben ist, nicht wieder zurückkommt. Mit gravierenden Folgen für die Natur. Einige Verluste kompensiert der Mensch schon jetzt mit erfinderischen Lösungen. Beispielsweise sollen fliegende Roboterdrohnen fehlende Honigbienen ersetzen. In China werden mittlerweile Blüten per Hand bestäubt oder in den USA mobile Bienen-trucks zu den Feldern gefahren.

Aber diese Hilfsmittel versagen auf Dauer. So sind etwa Wildbienen, von denen es in Deutschland mehr als 500 Arten gibt, wichtige Spezialisten. Sie haben eigene Vorlieben für bestimmte Blüten. Einige von ihnen sind vorzugsweise zu Zeiten aktiv, die andere wiederum zu kalt oder zu feucht finden. Noch funktioniert ein Sicherheitsnetz der Natur: Wenn einzelne Arten aussterben, erledigen andere deren Aufgaben mit. Nimmt die Vielfalt hingegen ab, funktioniert dieser Prozess nicht mehr – bis schließlich ganze Ökosysteme zusammenbrechen.

Ursachen sind nach Meinung des Autors nicht nur der Klimawandel, die Zunah-

me der Weltbevölkerung oder die Tatsache, dass immer mehr Flächen mit Parkplätzen und Neubauten versiegelt werden. Die größte Gefahr geht nach Michael Schrödl's Ansicht von der industriellen Landwirtschaft aus. Dazu kommt, dass jedes Jahr bis zu zehn Millionen Hektar Tropenwald als Lebensraum verloren gehen; sie werden zum Zweck der landwirtschaftlich Nutzung gerodet.

Am Ende seines Buchs stellt der Autor den Lesenden ein Worst-Case-Szenario vor. In einer Art Countdown – beginnend mit dem Hitzesommer 2018 – führt er an einzelnen Beispielen vor Augen, was bis 2050 alles passieren kann, wenn Klimawandel, Artensterben und Versorgungskrise zusammenwirken.

Das Arten- und Insektensterben ist derzeit ein Thema vieler aktueller Bücher. Aber keines ist so emotional geschrieben. Der Artenforscher macht deutlich: Wenn es einen glücklichen Ausgang für die Zivilisation geben soll, müssen sofort wirk-same Maßnahmen starten. Einige davon stellt er vor, etwa den Schutz naturnaher Lebensräume wie Moore, Auen, Wälder, Mangroven oder Korallenriffe, Umstellung auf biologische Landwirtschaft und weg von den fossilen Energieträgern. Das Werk ist trotz Faktenfülle kein nüchternes Sachbuch. Es ist eher ein wütender Weckruf, mit dem der Autor auch mit drastischen Worten aufrütteln und zu Taten anspornen will.

Katja Engel



Im Sinkflug

Peter Berthold, Konrad Wothe, **Unsere einzigartige Vogelwelt**, Die Vielfalt der Arten und warum sie in Gefahr ist

224 Seiten, Frederking & Thaler Verlag, München 2019, 29,99 Euro

Die Letzten ihrer Art lautete der Titel eines Buchs aus dem Jahr 1992. Der Science-Fiction-Autor Douglas Adams – berühmt durch sein Werk *Per Anhalter durch die Galaxis* – unternimmt darin eine Weltreise zu vom Aussterben bedrohten Tierarten. Eine davon sind die Kakapos auf Neuseeland. Von dem „größten, fettesten und flugunfähigsten Papageien der Welt“ (Adams) lebten bei Erscheinen des Buchs nur noch weniger als 50 Exemplare.

Spätestens 30 Jahre später ist das Artensterben unter den Vögeln auch in Deutschland angekommen. Waren es im vergangenen Jahrhundert noch einige wenige, besonders auffällige Arten wie Wanderfalken oder Weißstorch, deren Rückgang besonders ins Auge fiel, sind heute längst Allerweltsarten wie Star, Lerche und Rebhuhn betroffen. Sogar um die Amsel muss man sich inzwischen sorgen.

Der Ornithologe und ehemalige Direktor am Max-Planck-Institut für Ornithologie in Radolfzell, Peter Berthold, beklagt den teils dramatischen Rückgang an Vögeln in seinen Veröffentlichungen schon seit Jahren. Nun legt er gemeinsam mit dem Naturfotografen Konrad Wothe ein Buch vor, das den Verlust nicht in Zahlen, sondern in Bildern fasst. Zierliche Goldhähnchen, schillernde Baurackens, leuchtende Pirole, majestätische Greifvögel – der Band zeugt von der Vielfalt und Schönheit unserer heimischen Vögel und gibt eine Ahnung davon, welch ein Verlust das Verschwinden dieser Tiere wäre.

Beginnend mit in Deutschland bereits ausgestorbenen Arten bis hin zu häufiger

werdenden Vögeln präsentieren Berthold und Wothe die ganze Pracht unserer heimischen Vogelwelt. Kurze Begleittexte informieren über den aktuellen Bestand und die Bedrohung der einzelnen Arten. Nicht zuletzt das Kapitel über die vom Aussterben bedrohten Vögel macht den Ernst der Lage deutlich: Wer in Deutschland noch Sumpfohreulen (50 Brutpaare), Alpenstrandläufer (10) oder Rotkopfwürger (3) kennenlernen will, muss sich beeilen – es sind bereits die Letzten ihrer Art.

Manche Vögel hingegen, und das mag man kaum glauben, sind „im Aufwind“. Dazu gehören beispielsweise Seeadler, Uhu und Wanderfalke, die dank strenger Artenschutzmaßnahmen vor dem Aussterben bewahrt werden konnten. Der Bienenfresser wiederum profitiert von den steigenden Temperaturen in Deutschland. Und andere verdanken ihr Vorkommen komplett dem Menschen, wie etwa der Halsbandsittich. In den 1960er-Jahren entkamen einige Vögel der Gefangenschaft und bauten in Köln eine kleine Kolonie auf. Heute leben mehrere Zehntausend Exemplare dieser ursprünglich aus Afrika und Asien stammenden Papageien in Deutschland.

Diese Ausreißer können jedoch nicht darüber hinwegtäuschen, wie schlecht es den allermeisten Vögeln in Deutschland geht. Von 300 Millionen Exemplaren im Jahr 1800 sind Peter Berthold zufolge noch rund 60 Millionen übrig. Es gibt also heute mehr Menschen als Vögel im Land. Vielen Arten könnte schon in 10 oder 20 Jahren ein ähnliches Schicksal blühen wie den hierzulande bereits ausgestorbenen Arten Wald-

rapp, Steinsperling und Schlangennadler. In einer von Intensivlandwirtschaft und fortschreitender Bebauung dominierten Umwelt sind inzwischen sogar die früher unverwundlichen Spatzen gefährdet.

So ist der Band eine Hommage an die Formen-, Farben- und Verhaltensvielfalt der Vögel und eine Mahnung zugleich. Viel Zeit bleibt nicht mehr, den katastrophalen Trend der vergangenen Jahrzehnte umzukehren. Ein massives Umsteuern ist nötig, damit Bertholds Buch nicht zum Abgesang auf die heimische Vogelwelt wird. Die wachsenden Bestände von Wanderfalke, Storch oder auch Seeadler in Deutschland zeigen, dass Schutzmaßnahmen erfolgreich sein können.

Die eingangs erwähnten neuseeländischen Kakapos machen da Mut: Nach dem Tiefstand hat sich ihre Zahl auf inzwischen – immer noch höchst bedrohte – 150 Tiere verdreifacht. Dazu waren allerdings jahrelange künstliche Fütterung, Kükenaufzucht per Hand sowie mehrere Umsiedlungsaktionen notwendig. Bleibt zu hoffen, dass es in Deutschland so weit nicht kommen muss.

Harald Rösch



Programmierte Intelligenz

Lukas Brand, **Künstliche Tugend**, Roboter als moralische Akteure

152 Seiten, Verlag Friedrich Pustet, Regensburg 2018, 16,95 Euro

Der Titel *Künstliche Tugend* ist provokant. Denn das Buch von Lukas Brand handelt im Kern davon, die aristotelische Tugendethik auf Roboter zu übertragen. Der Autor will damit einen Beitrag für eine zukünftige Maschinenethik leisten, denn er geht davon aus, dass in absehbarer Zeit intelligente Roboter im Umgang mit Menschen dazu befähigt werden müssen, moralisch zu urteilen und zu handeln – oder, in Brands Worten, „auch in moralischen Dilemmasituationen auf autonome Weise ethisch verantwortbare Entscheidungen“ zu treffen.

Das ist eine steile These. Sie wird jedoch kaum in Europa und Deutschland vertreten. So schrieb jüngst Bundestagspräsident a.D. Norbert Lammert in der *FRANKFURTER ALLGEMEINEN ZEITUNG* über die künstliche und die menschliche Intelligenz: „KI trifft keine Entscheidungen, sie setzt sie um.“ Ähnlich, aber philosophisch tief begründet, äußert sich Julian Nida-Rümelin im gemeinsamen Buch mit Nathalie Weidenfeld unter dem Titel *Digitaler Humanismus*. Demnach bleiben Moral und Tugend eine zutiefst menschliche Angelegenheit.

Anders Lukas Brand: Vererbung, Sozialisation, Gewöhnung und eigene Mühe würden im Ergebnis die „Seele“ eines Menschen ausmachen, die autonomes Handeln und entsprechende Verantwortung begründen. Auf Roboter – die verkörperte KI – übertragen, soll die Kombination aus Hard- und Software menschliche Leistungen dann reproduzieren können, wenn der Roboter ein „künstliches neuronales Netzwerk“ mit „Deep Learning“ verbinde. Der

Autor meint, er könne utilitaristische und regelbasierte Begründungen für eine moralische KI, die er als unzulänglich einstuft, mit einer 2400 Jahre alten Psychologie überwinden.

Brand räumt zwar ein, dass die Vernunft des Menschen nach Aristoteles mit dem Körper unvermischt sei, dennoch meint er: „Diese Verbindung von mentalen Prozessen mit dem physischen Körper des Menschen lässt sich auf die Verbindung von Software und Hardware eines Roboters übertragen“ – eine entsprechende Maschine könne die „Seelenfähigkeit“ des Denkens besitzen, die für den Menschen wesentlich sei. Am Ende bleibt aber die Vereinigung von KI und Roboterkörper ein Dualismus und die Intelligenz, vom Menschen in den künstlichen Körper eingesetzt, programmiert.

Der Autor muss einräumen, dass es bis jetzt noch keine „vollkommen autonomen, universalen, künstlich intelligenten, geschweige denn künstlich moralischen Akteure“ gibt. Er meint aber, in den heute schon vorhandenen Beispielen von KI sei sein Ansatz potenziell enthalten und künftig durchaus im Bereich des Möglichen. Einig sind sich viele Experten darin, dass künstliche Intelligenz in schmalen Kompetenzbereichen erfolgreich sein wird und dann auch besser als ein Mensch. Doch im aristotelischen Sinne ist das Ganze mehr als die Summe seiner Teile: Wer nur eine Tugend hat, hat keine; wer aber eine wirklich hat, besitzt die ganze Tugend.

Am stärksten ist das Buch dort, wo der Autor über die Geschichte der KI referiert

und gerade auch auf die jüngste philosophische Diskussion um moralische Maschinen eingeht. Das macht in den sechs Kapiteln einen guten Teil des Werks aus und ist erhellend. Brand führt die gegenwärtigen Schwierigkeiten der KI fast durchweg auf die Problemstellungen des „Imitation Game“ von Alan Turing zurück. In der aristotelischen Seelenlehre aber eine Lösung für die fundamental unbeantwortbare Frage gefunden zu haben, ob Maschinen moralische Akteure sein könnten und damit das Kriterium für eine „künstliche Tugend“ erfüllen, kann nicht überzeugen.

Leider muss noch angemerkt werden, dass das Buch von Lukas Brand von Rechtschreibfehlern strotzt. Wenn heute eine Veröffentlichung nicht mehr von Lektoren begleitet ist, so hätte der Autor selbst – wenn nicht mit KI, so doch mit dem einfachen Korrekturprogramm einer üblichen Textsoftware – die meisten Fehler korrigieren können. Oder sollte es etwa so sein, dass eine KI das Buch *Künstliche Tugend* verfasst hat? Und, um die Leser in Sicherheit zu wiegen, den Text absichtlich mit etlichen Fehlern gespickt hat, um ein allzu menschliches Machwerk zu suggerieren?

Peter M. Steiner



Evolution in Echtzeit

Jonathan B. Losos, **Glücksfall Mensch**, Ist Evolution vorhersagbar?

384 Seiten, Carl Hanser Verlag, München 2018, 26,00 Euro

Als gegen Ende des 18. Jahrhunderts die ersten ausgestopften Schnabeltiere nach England kamen, suchten Forscher stundenlang nach versteckten Nähten, um den Betrug aufzudecken. Ein Eier legendes Säugtier mit Entenschnabel und Schwimmflossen? Das konnten nur chinesische Händler gewesen sein, die diese Kreatur zusammengeflochten hatten! Das Schnabeltier ist tatsächlich einzigartig. Evolutionäre Unikate aber gibt es öfter – Elefanten etwa, Giraffen oder Chamäleons. Andererseits existieren Arten, die sich in bestimmten Merkmalen verblüffend ähneln, obwohl sie nicht miteinander verwandt sind: Wissenschaftler sprechen von Konvergenz.

Wirbeltiere und Tintenfische etwa entwickeln sich seit vielen Hundert Millionen Jahren getrennt, haben aber Augen, die nach demselben Prinzip funktionieren. Kaffee-, Tee- und Kakaopflanzen gehören zu unterschiedlichen Familien, produzieren jedoch allesamt Koffein zur Insektenabwehr. Die Evolution kommt offenbar immer wieder auf dieselben Lösungen. Sind manche Entwicklungen also doch vorhersagbar?

Eine viel diskutierte Frage, der Jonathan B. Losos in seinem Buch nachgeht. Losos ist seit seiner Jugend ein Reptilien-Nerd und hat es mit seiner Leidenschaft für die Schuppentiere bis zur Harvard-Professur gebracht. Seit mehreren Jahrzehnten erforscht er Eidechsen der Gattung *Anolis*. Der Wissenschaftler gilt als Vorreiter der experimentellen Evolutionsforschung – einer Fachrichtung, die lange nicht ernst genommen wurde: Seit Charles Darwin glaub-

ten Experten, die Evolution verlaufe viel zu langsam, als dass man sie in Echtzeit beobachten könne.

Heute gibt es etliche Arbeiten, die das Gegenteil zeigen, darunter die legendäre Langzeitstudie des Amerikaners Richard Lenski. Seit drei Jahrzehnten untersucht er *Escherichia coli*-Bakterien im Labor. Dazu lassen er und seine Mitarbeiter zwölf Populationen, die alle von einer einzigen Mutterzelle abstammen, unter denselben Bedingungen getrennt voneinander wachsen. So können die Forscher das Band der Evolution quasi zwölfmal abspielen.

Mehrere Zehntausend Bakteriengenerationen hat das Team schon verfolgt, und viele Populationen entwickeln sich tatsächlich ganz ähnlich. Manchmal aber entsteht etwas radikal Neues – etwa ein noch nie da gewesener Stoffwechselweg, den erst das Zusammentreffen mehrerer zufälliger Mutationen hervorbrachte.

Eine klare Vorhersage ist also nicht möglich, und so bleibt Jonathan B. Losos seinen Lesern eine endgültige Antwort schuldig. Dafür diskutiert er die Kontroverse „Zufall versus Determinismus“ zugänglich und mit viel Sachkenntnis. Streckenweise hat das Buch seine Längen, vor allem die Passagen über die Laborexperimente. Umso kurzweiliger sind dafür die Geschichten über Losos' eigene Forschung.

Man hat das Gefühl, mit dabei zu sein, wenn er als junger Wissenschaftler auf die Bahamas reist und anstatt Strand, Cocktail und Hängematte eine Absteige mit riesigen Flugschaben vorfindet. Seinem Enthusiasmus tut das keinen Abbruch, und so

zieht er los, um Echsen zu fangen und zu vermessen. Es gelingt ihm, schnelle, adaptive Evolution in freier Wildbahn nachzuweisen – damals eine Sensation, mit der er im Fachblatt *NATURE* landet.

Was den Reiz des Buchs ausmacht, ist vor allem der lockere und witzige Plauderton, zusammen mit den vielen Erlebnisberichten und Anekdoten. Der Autor schafft es damit, dass seine Begeisterung gleich zu Anfang auf den Leser überspringt. Wissenschaftliche Zusammenhänge präsentiert er klar und verständlich, sodass auch Laien den Text mit Gewinn lesen. Ein weiterer Pluspunkt sind die schönen Illustrationen.

Ein wenig irreführend ist der deutsche Titel *Glücksfall Mensch*, da es nur am Rande um Menschen geht. Kein Wunder, denn um Evolution in Echtzeit zu beobachten, studieren Forscher gern schnelllebige Organismen, um darüber nicht alt und grau zu werden.

Trotzdem streift Jonathan B. Losos auch die großen Fragen zu unserer eigenen Existenz: Was wäre etwa passiert, wenn der Asteroid zum Ende der Kreidezeit die Dinosaurier nicht ausgelöscht hätte? Gäbe es uns Menschen dann überhaupt? Laut dem kanadischen Paläontologen Dale Russell womöglich als grüne, geschuppte „Dinosauriden“, die uns verblüffend gleichen. Und vielleicht hätte ja einer von ihnen ein ähnlich lesenswertes Buch geschrieben. Elke Maier



Briefe aus der Fremde

Stefan Frankenberger, ... **Deine Lise**, Die Physikerin Lise Meitner im Exil

Audiobuch mit Booklet (2 CDs), Spieldauer 1:37 h, Buchfunk Verlag, Leipzig 2018, 25,00 Euro

Lise Meitners 50. Todestag und ihr 140. Geburtstag gaben im Jahr 2018 Anlass für verschiedene Veranstaltungen und Neuerscheinungen zu Leben und Werk der Spitzenphysikerin. Stefan Frankenberger geht mit seinem Audiobuch neue Wege. Seine Hörcollage konzentriert sich auf Meitners eigene Wahrnehmung ihrer schwedischen Exiljahre von 1938 bis 1945 anhand von Briefen, die sie nach ihrer Flucht aus Deutschland mit Freunden und Kollegen wechselte.

Briefe waren für Meitner in dieser Zeit so etwas wie die Nabelschnur zu einer verlorenen Alltagsnormalität, die bis dahin durch ihre Arbeit am Kaiser-Wilhelm-Institut für Chemie in Berlin dominiert war. Brieflich hatte sie auch Anteil an Otto Hahns und Fritz Straßmanns Entdeckung der Kernspaltung im Dezember 1938. Die Physikerin war im Juli desselben Jahres überstürzt vor den antisemitischen Verfolgungen aus Berlin geflohen.

Ihre Kollegen arbeiteten derweil weiter am gemeinsam begonnenen Projekt der Erzeugung von Transuranen, was im Dezember 1938 zur Spaltung des Uran-

atomkerns führte. Hahn konnte die Zerfallsprodukte in seinem Berliner Labor zwar chemisch sauber nachweisen, tat sich aber schwer, eine physikalische Erklärung zu finden, und bat Meitner um Hilfe. Der Briefwechsel dokumentiert diese Ereignisse lückenlos und liefert dem Hörbuch einen spannungsreichen Plot, dessen Ende der Autor mit dem Abwurf der ersten Atombombe auf Hiroshima setzt.

Frankenbergers Textauswahl illustriert aber auch Meitners entbehrungsreichen Alltag, ihre Niedergeschlagenheit und Selbstzweifel angesichts der Tatsache, ganz auf andere Menschen angewiesen und wissenschaftlich weit zurückgeworfen zu sein. Ebenso vermitteln die ausgewählten Texte ein Bild des Alltags im nationalsozialistischen Deutschland während des Kriegs, da Frankenberger auch Briefe von für Meitner wichtigen Zeitgenossen wie Max Planck oder Max von Laue verarbeitet hat. Spürbar ist zudem die wachsende Spannung zwischen den Freunden, die Meitners Frage nach der Mitschuld der in Deutschland Gebliebenen am Nationalsozialismus aufgeworfen hatte.

Diese Texte sind heute eine unschätzbare Quelle für die historische Forschung, aus der Stefan Frankenberger kenntnisreich schöpft. Unterlegt mit freien Jazzimprovisationen und gelesen von erfahrenen Schauspielern – darunter Elisabeth Orth vom Wiener Burgtheater als Lise Meitner –, entfalten sie auch emotionale Kraft und öffnen einen frischen Blick auf das Thema. Professionell gelesen, werden auch die physikalischen Fakten der Kernspaltung, die der Briefwechsel enthält, für Laien nachvollziehbar. Einziges Manko ist das fehlende Quellenverzeichnis in dem ansonsten inhaltsreichen und schön bebilderten Booklet, das auch eine umfassende Darstellung von Meitners Biografie enthält.

Interessante Denkanstöße zur Bedeutung der Quanten- und Atomphysik, an deren Entwicklung Lise Meitner Anteil hatte, für das abendländische Denken liefert das Hintergrundgespräch zwischen dem Autor und dem Physiker und Wissenschaftsphilosophen Herbert Pietschmann. Insgesamt eine gelungene Annäherung an die Wissenschaftsgeschichte.

Susanne Kiewitz

Weitere Empfehlungen

- David Christian, **Big History**, Die Geschichte der Welt – vom Urknall bis zur Zukunft der Menschheit, 384 Seiten, Carl Hanser Verlag, München 2018, 25,00 Euro
- Hans-Ulrich Keller, **Kosmos Himmelsjahr 2019**, Sonne, Mond und Sterne im Jahreslauf, 304 Seiten, Franckh-Kosmos Verlag, Stuttgart 2018, 17,99 Euro
- Norbert Sachser, **Der Mensch im Tier**, Warum Tiere uns im Denken, Fühlen und Verhalten oft so ähnlich sind, 256 Seiten, Rowohlt Verlag, Reinbek bei Hamburg 2018, 20,00 Euro

Standorte

- Institut / Forschungsstelle
- Teilinstitut / Außenstelle
- Sonstige Forschungseinrichtungen
- Assoziierte Forschungseinrichtungen

Niederlande

- Nimwegen

Italien

- Rom
- Florenz

USA

- Jupiter, Florida

Brasilien

- Manaus

Luxemburg

- Luxemburg



MAX-PLANCK-GESellschaft

Impressum

MAXPLANCKFORSCHUNG wird herausgegeben von der Wissenschafts- und Unternehmenskommunikation der Max-Planck-Gesellschaft zur Förderung der Wissenschaften e.V., vereinsrechtlicher Sitz: Berlin.
ISSN 1616-4172

Redaktionsanschrift

Hofgartenstraße 8
80539 München
Telefon: 089 2108-1719 / -1276 (Fax: -1405)
E-Mail: mpf@gv.mpg.de
Internet: www.mpg.de/mpforschung
Kostenlose App: www.mpg.de/mpf-mobil

Verantwortlich für den Inhalt

Dr. Christina Beck (-1276)

Redaktionsleitung

Peter Hergersberg (Chemie, Physik, Technik; -1536)
Helmut Hornung (Astronomie; -1404)

Redaktion

Dr. Elke Maier (Biologie, Medizin; -1064)
Dr. Harald Rösch (Biologie, Medizin; -1756)
Mechthild Zimmermann (Kultur, Gesellschaft; -1720)

Bildredaktion

Susanne Schauer (-1562)

Gestaltung

Julia Kessler, Sandra Koch
Voßstraße 9
81543 München
Telefon: 089 2781 8770
E-Mail: projekte@designergold.de

Litho

KSA Media GmbH
Zeuggasse 7
86150 Augsburg

Druck & Vertrieb

Vogel Druck- & Medienservice GmbH
Leibnizstraße 5
97204 Höchberg

Anzeigenleitung

Beatrice Rieck
Vogel Druck- & Medienservice GmbH
Leibnizstraße 5
97204 Höchberg
Telefon: 0931 4600-2721 (Fax: -2145)
E-Mail: beatrice.rieck@vogel-druck.de

MAXPLANCKFORSCHUNG berichtet über aktuelle Forschungsarbeiten an den **Max-Planck-Instituten** und richtet sich an ein breites wissenschaftsinteressiertes Publikum. Die Redaktion bemüht sich, auch komplexe wissenschaftliche Inhalte möglichst allgemeinverständlich aufzubereiten. Das Heft erscheint in deutscher und englischer Sprache (**MAXPLANCKRESEARCH**) jeweils mit vier Ausgaben pro Jahr; die Auflage dieser Ausgabe beträgt 85 000 Exemplare (**MAXPLANCKRESEARCH**: 10 000 Exemplare). Der Bezug ist kostenlos. Ein Nachdruck der Texte ist nur mit Genehmigung der Redaktion gestattet; Bildrechte können nach Rücksprache erteilt werden. Die in **MAXPLANCKFORSCHUNG** vertretenen Auffassungen und Meinungen können nicht als offizielle Stellungnahme der **Max-Planck-Gesellschaft** und ihrer Organe interpretiert werden.

Die **Max-Planck-Gesellschaft** zur Förderung der Wissenschaften unterhält 84 Institute und Forschungseinrichtungen, in denen rund 23 400 Personen forschen und arbeiten, davon etwa 6 700 Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler. Der Jahresetat 2018 umfasst insgesamt 1,8 Milliarden Euro. Die **Max-Planck-Institute** betreiben Grundlagenforschung in den Natur-, Lebens- und Geisteswissenschaften. Die **Max-Planck-Gesellschaft** ist eine gemeinnützige Organisation des privaten Rechts in der Form eines eingetragenen Vereins. Ihr zentrales Entscheidungsgremium ist der Senat, in dem Politik, Wissenschaft und sachverständige Öffentlichkeit vertreten sind.

Zur besseren Lesbarkeit haben wir in den Texten teilweise nur die männliche Sprachform verwendet. Mit den gewählten Formulierungen sind jedoch alle Geschlechter gleichermaßen angesprochen.

MAXPLANCKFORSCHUNG wird auf Papier aus vorbildlicher Forstwirtschaft gedruckt und trägt das Siegel des Forest Stewardship Council® (FSC®)



Forschung leicht gemacht.

Schafft die Papierstapel ab!

Das Magazin der Max-Planck-Gesellschaft
als ePaper: www.mpg.de/mpf-mobil

Internet: www.mpg.de/mpforschung

Kostenlos
downloaden!



MAX-PLANCK-GESELLSCHAFT