

Ausgabe 01 | 2024

MAX PLANCK

Forschung

KLIMAFORSCHUNG

Ein Schirm aus Blumenwolken

ASTRONOMIE

Das digitale Universum

MATERIALWISSENSCHAFT

Natürlich gut verpackt



(UN)FREI



FOTO: ISTOCK/KARDD

Das Grundgesetz garantiert in Deutschland umfangreiche Freiheitsrechte. Und diese gehen weiter, als viele denken.

Aber natürlich hat die Freiheit auch Grenzen. An die stößt man selbst in den sozialen Medien, wo fast alles erlaubt ist. Fast nichts ist in repressiven Regimen erlaubt. Dort ist es eine Kunst, sich Freiräume zu schaffen.

EDITORIAL

Liebe Leserin, lieber Leser

„Weltoffenheit, Respekt und Gemeinschaft sind Werte, die Deutschland nicht nur zu einem lebenswerten, sondern auch zu einem wirtschaftlich starken Land machen. Deshalb stehen wir zusammen für ein offenes Land, das sich Schwierigkeiten mutig stellt.“ Mit dieser Botschaft setzen rund 500 Unternehmen und gesellschaftliche Institutionen sowie mehr als 350 Wissenschaftseinrichtungen in der Kampagne #Zusammenland ein Zeichen gegen Rechtsextremismus und bekennen sich zu Freiheit und Vielfalt. Der Kampagne hat sich auch die Max-Planck-Gesellschaft angeschlossen. Sie reagiert damit auf gesellschaftliche Entwicklungen, die unsere freie demokratische Gesellschaftsform bedrohen. „Rechtsradikale Gesinnung und Fremdenfeindlichkeit bereiten mir Sorge“, sagte Max-Planck-Präsident Patrick Cramer kürzlich in einem Videoblog, der sich an die Beschäftigten der Forschungsorganisation richtet. „Vergessen wir nie: Demokratie ist keine Selbstverständlichkeit. Wir müssen auch für sie eintreten und verantwortlich mit unseren Rechten umgehen.“

Da passt es gut, dass das Bundesforschungsministerium 2024 zum Wissenschaftsjahr der Freiheit ausgerufen hat. Auch in *MaxPlanckForschung* werden wir in diesem Jahr verschiedene Aspekte der Freiheit beleuchten, angefangen mit dem Fokus dieser Ausgabe, der sich dem Spannungsfeld zwischen Freiheit und Unfreiheit widmet. Wie wichtig der Einsatz für Freiheit und Demokratie ist, wurde in den vergangenen Jahren in erschreckend vielen Ländern deutlich, in denen die freiheitliche Demokratie sukzessive demontiert wurde. Indem sogenannte illiberale Demokratien wie Ungarn die Gewaltenteilung einschränken, garantieren sie eben nicht mehr alle liberalen Freiheitsrechte. In Russland, das mittlerweile als Diktatur eingestuft wird, wurden diese Rechte mit dem Beginn des Angriffskriegs gegen die Ukraine gänzlich abgeschafft. In unserer Infografik erfahren Sie, welche staatlichen Eingriffe die Freiheit untergraben und die Demokratie aufs Spiel setzen. Aber es gibt Hoffnung. Dafür stehen nicht nur Kampagnen wie #Zusammenland und die Demonstrationen gegen Rechtsextremismus in vielen deutschen Städten. Das Beispiel Polens zeigt, dass freiheitliche Kräfte trotz des autoritären Umbaus durch die PiS-Partei wieder an die Regierung kommen können. Wie sich Freiheit und Rechtsstaatlichkeit in Polen restaurieren lassen, erläutern Armin von Bogdandy und Dimitri Spieker vom Max-Planck-Institut für ausländisches öffentliches Recht und Völkerrecht in einem Essay.

Sich für Freiheit und Demokratie einzusetzen, sollte allen Menschen und Institutionen in diesem Land ein Anliegen sein – insbesondere der Wissenschaft: Sie braucht nicht nur die Freiheit, neue Wege zu gehen. Die Kräfte, die Freiheit und Demokratie bedrohen, leugnen auch wissenschaftlich anerkannte Fakten, wie in Debatten zum Klimawandel immer wieder deutlich wird. „Wer Fakten missachtet und verdreht, beschädigt den Diskurs“, sagt Patrick Cramer. Doch gerade der offene, faktenbasierte Diskurs kennzeichnet eine pluralistische Gesellschaft. Wir möchten dazu beitragen, dass er in Deutschland weiterhin möglich bleibt.

Ihr Redaktionsteam



20



38



46



52

BILDER: ALEXANDRA ARKHIPOVA, YURI LAPSHIN (2023); "NO WOBBLE", V. I.O. DISCUSS DATA (LINKS OBEN), KATRIN BINNER FÜR MPG (RECHTS OBEN), DR. SUSANA COELHO / MPI FÜR BIOLOGIE TUBINGEN (LINKS UNTEN), MPI FÜR METEOROLOGIE / NASA WORLDVIEW (RECHTS UNTEN)

20 | MUTIG

Um Kritik zu äußern, setzen Kunstschaffende in Russland auf ungewöhnliche Protestformen.

38 | VIELSEITIG

Martina Preiner war Journalistin, ehe sie ihre Leidenschaft für die Forschung entdeckte.

46 | ÄSTIG

Marine Braunalgen liefern Hinweise zur Evolution der unterschiedlichen Geschlechter.

52 | FLÜCHTIG

Wolken im tropischen Passatgürtel reflektieren das Sonnenlicht und kühlen dadurch unser Klima.

03 | EDITORIAL

06 | ORTE DER FORSCHUNG

Utqiagvik in Nordalaska

8 | KURZ NOTIERT

12 | ZUR SACHE

„Demokratie lässt sich schneller demontieren als wiederherstellen“

Armin von Bogdandy und Dimitri Spieker gehen der Frage nach, wie sich in Polen der demokratische Reformprozess gestalten lässt.

18 | INFOGRAFIK

Demokratie steht auf dem Spiel

IM FOKUS

(Un)frei

20 | Die Kunst der leisen Kritik

Seit dem Überfall auf die Ukraine nehmen Repressionen und Zensur in Russland zu. Kunstschafterinnen gehen deshalb ungewöhnliche Wege, um ihre politische Überzeugung kundzutun.

26 | In der Echokammer

Die sozialen Medien erleichtern es, dass Menschen einander in ihren Meinungen bestärken und immer extremere Positionen einnehmen. Forschende untersuchen dieses Phänomen der Echokammer sozialwissenschaftlich, juristisch und mathematisch.

32 | Die große Freiheit

Laut Umfragen haben viele Menschen in Deutschland das Gefühl, ihre Meinung nicht frei äußern zu können. Rechtsexperten untersuchen, ob dies gerechtfertigt ist.

38 | BESUCH BEI

Martina Preiner

44 | ZWEITER BLICK

WISSEN AUS

46 | Ein Gen für die Männlichkeit

Im Stammbaum des Lebens haben Braunalgen eine Sonderstellung. Dies macht sie zu interessanten Forschungsobjekten, an denen sich die Evolution der Geschlechter untersuchen lässt.

52 | Ein Schirm aus Blumenwolken

Tropische Passatwolken reflektieren die Sonneneinstrahlung und kühlen so das Klima. Forschende wollen herausfinden, wie sich die menschengemachte Erderwärmung auf den wolkigen Schuttschirm auswirkt.

58 | Das digitale Universum

Dunkle Materie und dunkle Energie lassen sich nicht beobachten. Daher simulieren Astronominnen und Astronomen am Computer, welche Rolle sie bei der Entwicklung des Universums spielen.

64 | Natürlich gut verpackt

Im Pflanzenreich gibt es vielseitige Biomaterialien, die als Baustoffe, für Kleidung oder für Verpackungen verwendet werden könnten. Forschende analysieren die Eigenschaften von Rinde und Samenkapseln.

70 | POST AUS ...

Nordpol

72 | NEU ERSCIENEN

74 | FÜNF FRAGEN

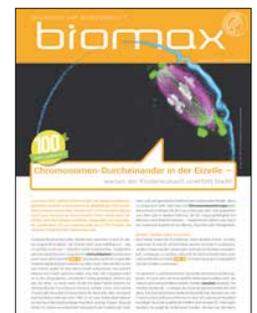
Zur europäischen Sicherheits- und Verteidigungspolitik

75 | IMPRESSUM

5

BIOMAX

Chromosomen-Durch-einander in der Eizelle – warum der Kinderwunsch unerfüllt bleibt



*SOMMER IM
HOHEN NORDEN*

Die arktische Tundra ist ein extremer Lebensraum. Selbst im Sommer, wenn die Sonne nicht untergeht, steigen die Temperaturen selten über 5 bis 10 Grad Celsius. Und doch brüten dann Tausende Zugvögel in der weitgehend baumlosen Landschaft. Ideale Bedingungen für Ornithologen, um den Einfluss von Licht auf das Balzverhalten und die „innere Uhr“ von Vögeln zu untersuchen. Bart Kempnaers vom Max-Planck-Institut für biologische Intelligenz hat sich dafür die Umgebung von Utqiagvik in Alaskas äußerstem Norden ausgesucht. Entstanden ist die nördlichste Stadt der USA aus einem Winterlager der indigenen Iñupiat, das hier bereits seit Jahrhunderten existierte. In der Sprache der Iñupiat bedeutet der Name „Ort, an dem wir Schneeeulen jagen“.

In mehreren Sommern haben Kempnaers und sein Team hier vier Zugvogelarten mit unterschiedlicher Lebensweise untersucht: Sandstrandläufer, Graubruststrandläufer, Spornammer und Thorshühnchen. Letztere ist eine der wenigen Vogelarten, bei denen sich allein die Männchen um die Aufzucht der Jungen kümmern. Bei den Graubruststrandläufern hingegen balzen und kämpfen die Männchen intensiv und fast ohne Pause, um sich im kurzen arktischen Sommer mit möglichst vielen Weibchen zu paaren. Dabei zeugen jene Männchen die meisten Jungen, die fast überhaupt nicht schlafen und trotzdem leistungsfähig bleiben. Die überwiegend monogam lebenden Spornammern dagegen halten trotz des fehlenden Tag-Nacht-Wechsels einen strikten 24-Stunden-Tagesrhythmus ein. Die „innere Uhr“ scheint, abhängig von sozialen und Umweltfaktoren, deutlich flexibler zu sein als gedacht.

Auch wenn die Wissenschaftler hier festen Boden unter den Füßen haben und aufs gefrorene Polarmeer schauen: Der größte Teil der Tundra ist im Polarsommer mehr oder weniger sumpfig. Und so stehen die Forschenden bei Temperaturen kurz über dem Gefrierpunkt die meiste Zeit im Wasser, manchmal bis zu den Oberschenkeln. Die Spezialstiefel halten dabei zuverlässig warm und trocken – und manche der Beteiligten fragen sich, warum so etwas nicht auch bei den Winterschuhen zu Hause möglich ist.



ORTE DER FORSCHUNG



FOTO: MPI FÜR BIOLOGISCHE INTELLIGENZ / SABINE SPEHN

MEHR GELD FÜR DEUTSCH-ISRAELISCHE ZUSAMMENARBEIT

Die Max-Planck-Gesellschaft verbinden langjährige und enge Beziehungen mit israelischen Forschungsinstitutionen. Ihre Tochter, die Minerva-Stiftung, fördert viele dieser Kooperationen. Für das Minerva-Fellowship-Programm und das Minerva-Zentren-Programm hat das Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) nun die weitere Finanzierung bewilligt.

Zusätzlich sollen arabischstämmige Israelis innerhalb des Minerva-Stipendienprogramms sowie die beiden Forschungsfelder *Human Rights and Democracy* sowie *Life under Extreme Conditions* jährlich mit einer halben Million Euro unterstützt werden. Nach der verheerenden Terrorattacke der Hamas am 7. Oktober 2023 will auch die Max-Planck-Förderstiftung

die deutsch-israelische Zusammenarbeit stärken: Das Max-Planck-Israel-Programm hat ein Volumen von zunächst einer Million Euro und wird über zwei Jahre laufen. Es fördert unter anderem die Forschungsaufenthalte israelischer Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler an Max-Planck-Instituten.

[www.mpg.de/
max-planck-israel-programm](http://www.mpg.de/max-planck-israel-programm)

AUSGEZEICHNET ★

2023 – EIN EXTREMES JAHR

2023 war klimatisch ein weiteres Jahr der Extreme. Die globale Durchschnittstemperatur lag in diesem Jahr 1,48 Grad Celsius über dem vorindustriellen Mittel. Gleichzeitig gab es außergewöhnliche Hitzewellen und Dürren, extreme Stürme und katastrophale Niederschläge. Studien des europäischen Konsortiums Xaida, an dem auch ein Team des Max-Planck-Instituts für Biogeochemie beteiligt ist, bestätigen nun, dass solch extreme Wetter- und Klimaereignisse durch den menschengemachten Klimawandel wahrscheinlicher und heftiger werden. So sind extreme Regenfälle wie die des Sturms Daniel, die im September in Libyen zwei

Dämme brechen ließen, infolge der Erderwärmung zehnmals wahrscheinlicher geworden. Die Überschwemmungen kosteten Tausende Menschen das Leben und machten Daniel zum bislang tödlichsten Sturm in Afrika. Partner des Xaida-Konsortiums analysierten zudem tödliche Hitzewellen, bei denen im Juli die Temperaturen etwa in den USA und in China auf mehr als 50 Grad Celsius stiegen. Und auch in Südeuropa war es im Sommer 2023 mit über 40 Grad Celsius außergewöhnlich heiß. In Zukunft sind laut einer Studie der ETH Zürich hier ebenfalls mehr als 50 Grad möglich.

www.mpg.de/21350374



DIRK GÖRLICH

Die Louis-Jeantet-Stiftung ehrt den Direktor am Max-Planck-Institut für Multidisziplinäre Naturwissenschaften für die Entdeckung einer besonderen Form biologischer Materie, die als hochselektive Barriere zentrale Transportwege in der Zelle maßgeblich kontrolliert – zum Beispiel zwischen Zellkern und Zytoplasma. Dirk Görlich habe bahnbrechende Beiträge zu unserem Verständnis der Prozesse geleistet, durch die Makromoleküle in den Zellkern hinein- und aus ihm heraus transportiert werden, so die Stiftung. Der Louis-Jeantet-Preis für Medizin ist mit 500 000 Schweizer Franken (rund 537 000 Euro) dotiert.

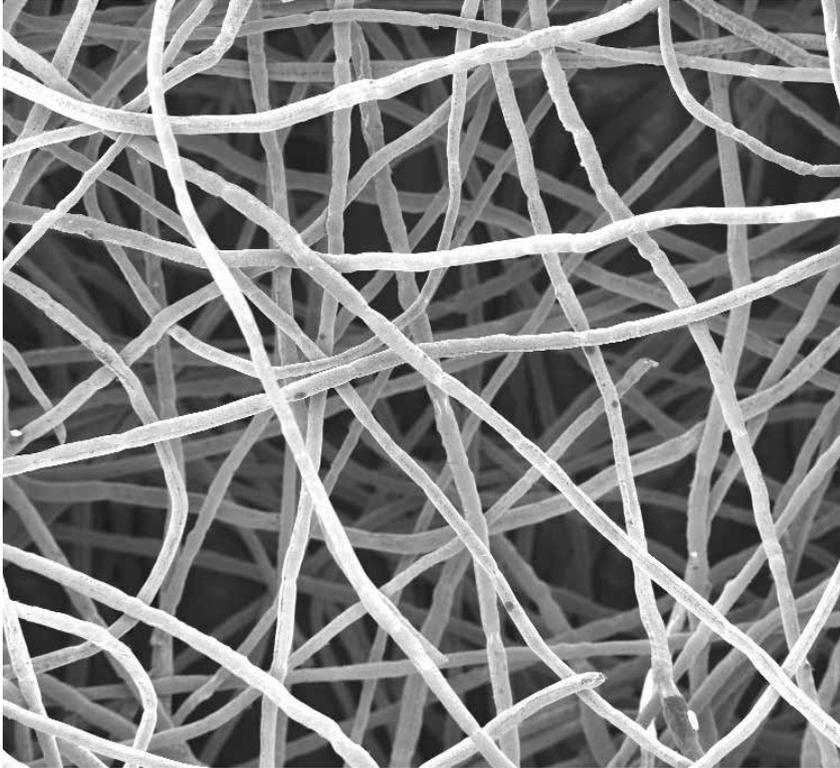
FOTO: MPI-NAT; IRENE BÖTTCHER-GAJEWSKI



FOTO: HALIL FIDAN / ANADOLU / PICTURE ALLIANCE

Der Regen des Sturmtiefs Daniel ließ in Libyen zwei Dämme brechen. Die dadurch ausgelöste Flut zerstörte Teile der Stadt Darna.

BILD: MPI FÜR MEDIZINISCHE FORSCHUNG



Vliese aus feinen Metalldrähten, die von Batene entwickelt werden, machen Batterien deutlich leistungsfähiger und kostengünstiger.

SCHUB FÜR NEUE BATTERIETECHNIK

Bis zu 80 Prozent mehr Energie können Batterien speichern, wenn sie die Technik der Batene GmbH nutzen. Das Start-up, das aus dem Max-Planck-Institut für medizinische Forschung heraus gegründet wurde, erhält für die Innovation nun den mit 30000 Euro dotierten Max-Planck-Gründungspreis des Stifterverbandes. Batene ersetzt die dünnen Kontaktfolien herkömmlicher Batterien durch Vliese feiner Metalldrähte, batene fleece™

genannt. Das beschleunigt den Ladungstransport durch das Speicher-material von Batterien erheblich. Das Metallvlies macht Energiespeicher deutlich leistungsfähiger. Zudem vereinfacht es die Produktion von Batterien drastisch und kann die Herstellungskosten infolgedessen um bis zu 50 Prozent senken. Die Batene-Technik kann also unter anderem die Reichweite von E-Autos erhöhen und deren Preis senken. www.mpg.de/21568139

NACH DEM BEBEN

Am 6. Februar 2023 erschütterte ein schweres Erdbeben die Türkei und Syrien. Auch Max-Planck-Studierende und ihre Familien waren von der Katastrophe betroffen. Mitglieder der Max-Planck-Gesellschaft haben daraufhin eine Unterstützungsinitiative ins Leben gerufen: Maxminds. Das Online-Mentoring-Programm fördert die akademische und berufliche Entwicklung von Bachelor- und Masterstudierenden an Universitäten in der Erdbebenregion. Die mehr als 60 Mentorinnen und Mentoren sind aktuelle oder ehemalige Mitarbeitende der Max-Planck-Gesellschaft aus verschiedenen Berufen und unterschiedlichen wissenschaftlichen Einrichtungen. An dem Mentoring-Programm beteiligen sich mehr als 50 Max-Planck-Institute und -Einrichtungen. Es wird unter anderem vom Diversity Excellence Fund der Max-Planck-Gesellschaft und vom Verein zur Förderung des zeitgenössischen Lebens in der Türkei (CYDD) unterstützt.

www.mpg.de/21508299

IST DAS NICHT LUSTIG?

„Kennst du den...?“ Witze sind nicht nur lustig, sie stärken auch soziale Bindungen. Für Humor muss man soziale Intelligenz besitzen, Handlungen anderer vorhersehen und deren Erwartungen einschätzen können. Ein Vorläufer des Scherzens ist spielerisches Necken. Bereits im Alter von acht Monaten necken Babys ihre Eltern und halten ihnen beispielsweise Gegenstände hin, die sie dann überraschend wieder zurückziehen. Ein Team, unter anderem mit Forschenden des Max-

Planck-Instituts für Verhaltensbiologie, hat nun nachgewiesen, dass sich auch Schimpansen, Bonobos, Gorillas und Orang-Utans untereinander necken und durch gezieltes Provozieren Aufmerksamkeit erregen wollen. Sie wedeln beispielsweise wiederholt mit einem Gegenstand vor den Augen des anderen herum, stupsen ihn an oder ziehen ihn an den Haaren. Ähnlich wie Menschen necken sich die Affen vor allem dann, wenn sie entspannt sind. Anders als beim reinen Spiel

geht das spielerische Necken meistens nur von einem Individuum aus und wird selten erwidert. Nach der Provokation schaut das Tier zum Geneckten, wartet auf eine Reaktion, wiederholt die Aktion oder probiert Neues. Die Tatsache, dass alle vier Menschenaffen-Arten die Fähigkeit zu spielerischem Necken besitzen, lässt darauf schließen, dass schon der letzte gemeinsame Vorfahr vor 13 Millionen Jahren seine Artgenossen ärgerte.

www.mpg.de/21526511

Im Falschfarbenbild der Sternentstehungsregion G333.23-0.06 sind Mehrfachsysteme von Protosternen (schwarze Sternsymbole in den vergrößerten Ausschnitten) zu erkennen.

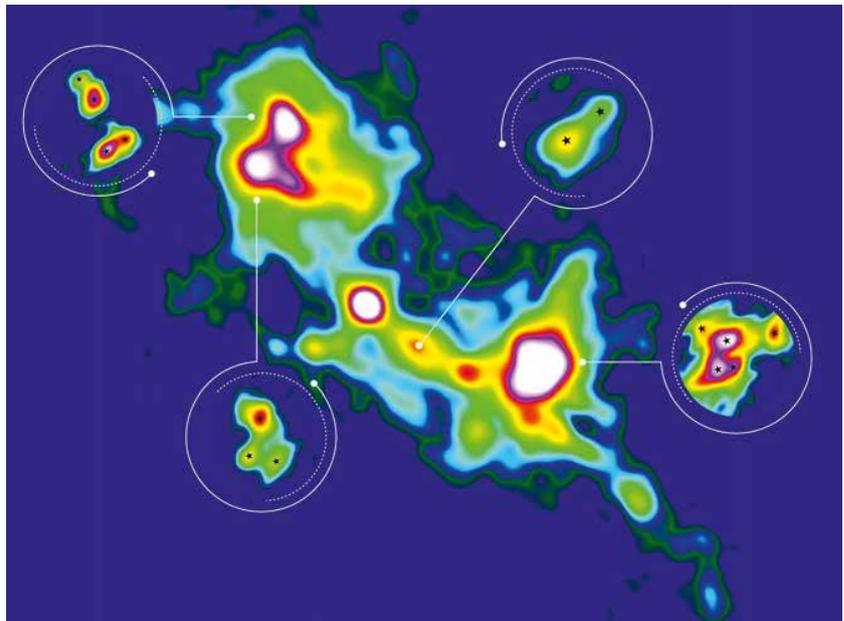


BILD: S. LI, MPIA / J. NEIDEL, MPIA GRAFIKABTEILUNG / ALMA OBSERVATORY

10

MIKROPLASTIK ÜBERALL

Mikroplastik findet sich selbst in den entlegensten Winkeln unseres Planeten. An einige Orte, wie etwa arktische und antarktische Gletscher und Eisschilde, können die Kunststoffpartikel nur durch die Atmosphäre gelangt sein. Dabei hängt es entscheidend von der Form der Partikel ab, wie weit Mikroplastik durch die Luft reist. Zu dieser Erkenntnis gelangten Forschende der Universität Wien und des Max-Planck-Instituts für Dynamik und Selbstorganisation in Göttingen mithilfe von Laborexperimenten und Modellsimulationen: Während sich kugelförmige Partikel rasch absetzen, könnten Mikroplastikfasern weite Strecken beispielsweise bis in die Arktis oder Antarktis zurücklegen und sogar die Stratosphäre erreichen. Jetzt sollen weitere Studien klären, inwieweit hoch fliegendes Mikroplastik auch das Klima und die Ozonschicht beeinflusst.

www.mpg.de/21362911

EIN STERN KOMMT SELTEN ALLEIN

Anders als die Sonne sind etwa die Hälfte der sonnenähnlichen Sterne in der Milchstraße nicht allein. Bei den besonders massereichen und damit leuchtstärksten Sternen beobachtet man sogar in 90 Prozent der Fälle mehr als einen Stern pro Sternensystem. Unklar war bisher, ob diese Mehrfachsysteme schon als solche geboren werden oder ob die Sterne erst im Laufe ihrer Entwicklung in einer Sternentstehungsregion zueinanderfinden. Forschende des Max-Planck-Instituts für Astronomie haben nun erstmals beobachtet, wie sich in der Region G333.23-0.06 unserer Milchstraße Doppel-, Dreifach- und Mehrfachsternensysteme aus kaltem molekularem Gas her-

ausbilden. Jede der beobachteten Knotenstrukturen entspricht einer Gaspackung, aus der sich jeweils ein Stern entwickeln wird, wenn die Dichte so hoch ist, dass die Kernfusion zündet. Die Forschenden haben für ihre Beobachtungen mehrere Dutzend Radioantennen des Alma-Observatoriums in Chile zu einem Teleskopverbund von einigen Kilometern Durchmesser zusammengeschaltet und damit relativ kleine Strukturen der Größe unseres Sonnensystems in einer Entfernung von 16000 Lichtjahren beobachtet. Mit einem Teleskop dieser Auflösung könnte man eine Euro Münze in 100 Kilometern Entfernung betrachten.

www.mpg.de/21351293



Luftaufnahme der 3000 Jahre alten Siedlung Alto de la Cruz, Navarra, während Ausgrabungsarbeiten im Jahr 1989. In der Siedlung entdeckten Forschende die Begräbnisstätten von zwei Kindern mit Down- und einem mit Edwards-Syndrom.

DOWN-SYNDROM IN DER VORZEIT

Menschen mit Down-Syndrom sind in der jüngeren Vergangenheit oft diskriminiert worden. In der Bronze- und Eisenzeit hingegen scheint dies nicht der Fall gewesen zu sein. Das zeigen Erbgutanalysen von Menschen, die vor 5000 bis 2500 Jahren in Griechenland, Bulgarien und Spanien bestattet wurden. Forschende des Leipziger Max-Planck-Instituts für evolutionäre Anthropologie haben im Erbgut von fünf Kindern aus jener Zeit so viele DNA-Sequenzen des Chromosoms 21 entdeckt, dass diese offenbar eine zusätzliche Kopie dieses Chromosoms besaßen und somit vom Down-Syndrom betroffen waren. Trotzdem scheinen sie umsorgte und anerkannte Mitglieder ihrer jeweiligen Gemeinschaft gewesen

zu sein, denn ihnen wurde das Privileg zuteil, innerhalb ihrer Siedlungen bestattet zu werden. Außerdem wurden ihnen besondere Beigaben wie Perlenketten, Bronzeringe oder Muscheln mit ins Grab gegeben. Unter den etwa 10000 untersuchten DNA-Proben entdeckten die Forschenden darüber hinaus diejenige eines Babys mit drei Kopien des Chromosoms 18. Es muss folglich am sogenannten Edwards-Syndrom gelitten haben – einer Erkrankung, die seltener ist als das Down-Syndrom und mit noch schwereren gesundheitlichen Problemen einhergeht. Ohne die Hilfe der modernen Medizin sind alle diese Kinder bereits in ihrem ersten Lebensjahr gestorben.

www.mpg.de/21540717

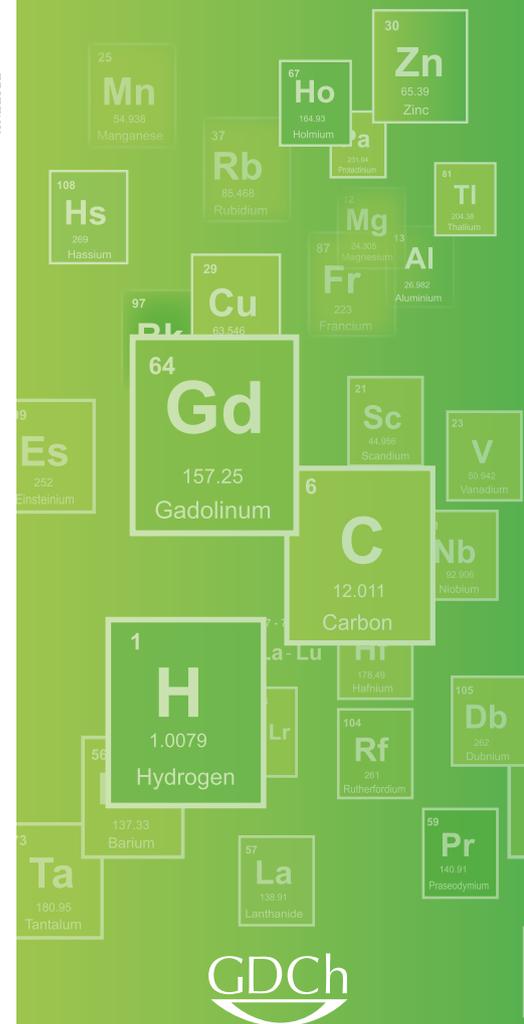
D A S
K A R R I E R E
P O R T A L

für Chemie und Life Sciences

Von Chemikern für Chemiker –
Nutzen Sie das Netzwerk
der GDCh:

- ➔ Stellenmarkt – Online und in den *Nachrichten aus der Chemie*
- ➔ CheMento – das GDCh-Mentoringprogramm für chemische Nachwuchskräfte
- ➔ Publikationen rund um die Karriere
- ➔ Coachings und Workshops
- ➔ Jobbörsen und Vorträge
- ➔ Einkommensumfrage

ANZEIGE



GDCh

GESELLSCHAFT DEUTSCHER CHEMIKER

www.gdch.de/karriere

„DEMOKRATIE LÄSST SICH SCHNELLER DEMONTIEREN ALS WIEDERHERSTELLEN“

Klares Wählervotum nach acht Jahren nationalkonservativer Politik der PiS-Partei: Polen will die Demontage von Demokratie und Rechtsstaatlichkeit stoppen. Doch wenn der Staatspräsident eine parteipolitische Agenda verfolgt und das Verfassungsgericht politisiert ist – wie lassen sich da demokratische Reformprozesse gestalten? Für Armin von Bogdandy und Dimitri Spieker zählen Umsicht, Taktik und Impulse aus der Bevölkerung.

Seit einigen Jahren ist in mehreren EU-Mitgliedstaaten ein Abbau demokratischer Rechtsstaatlichkeit zu beobachten. Die polnischen Wahlen vom Oktober 2023 zeigen jedoch, dass eine solche Entwicklung keine Einbahnstraße ist. Eine Mehrheit der polnischen Bevölkerung hat der neuen Regierung den Auftrag erteilt, den von der PiS betriebenen Umbau des Staates rückgängig zu machen.

Dieser Umbau betrifft viele Bereiche, die unter der Vorgängerregierung unter Druck gerieten, etwa Frauen- und LGBTQ+-Rechte, Meinungsfreiheit, Medienvielfalt oder die Presse- und Wissenschaftsfreiheit. Um dabei freie Hand zu haben, konzentrierte sich die PiS insbesondere auf den Umbau der polnischen Justiz. In einer groß angelegten Umwälzung senkte die Regierung das Renteneintrittsalter für Richterinnen und Richter, brachte die Ernennungsverfahren unter ihre Kontrolle und suchte die frei werdenden Stellen mit politisch loyalem Personal zu besetzen. Die verbleibende Richterschaft sollte mit Disziplinarmaßnahmen auf Linie gebracht werden. Besonders dramatisch wurde der Konflikt um die Höchstgerichte geführt. Während sich an manchen Gerichten eine starke Opposition

—>

ZUR SACHE

ARMIN VON BOGDANDY & DIMITRI SPIEKER



ILLUSTRATIONEN: SOPHIE KETTERER FÜR MPG

Armin von Bogdandy ist Direktor am Max-Planck-Institut für ausländisches öffentliches Recht und Völkerrecht in Heidelberg. Er forscht zu den Grundlagen des öffentlichen Rechts, unter anderem zu rechtsstaatlichen Entwicklungen und Reaktionsmöglichkeiten der Europäischen Union.



Dimitri Spieker ist Referent am Max-Planck-Institut für ausländisches öffentliches Recht und Völkerrecht und forscht zu den Grundwerten der Europäischen Union.

unabhängiger Richter formierte, geriet das polnische Verfassungsgericht unter die Räder. Heute ist es kaum mehr als eine Marionette der PiS.

Bei diesem Umbau nahm die Regierung nicht nur einen Bruch der polnischen Verfassung, sondern auch europäischen Rechts offen in Kauf. Sowohl der Gerichtshof der Europäischen Union als auch der Europäische Gerichtshof für Menschenrechte stellten in einer Kaskade von Urteilen fest, dass die Maßnahmen gegen die Grundsätze richterlicher Unabhängigkeit verstoßen. Die Regierung setzte ihren Kurs jedoch unbeirrt fort. Bis 2023 wurden mehrere Tausend Richterinnen und Richter in Verfahren ernannt, die gegen europäisches Recht verstoßen.

Die Demontage der Demokratie und der Rechtsstaatlichkeit reicht tief. Einen alles bereinigenden Federstrich des Gesetzgebers, den manche Stimmen fordern, um die demokratische Rechtsstaatlichkeit in Polen wiederherzustellen, kann es nicht geben. Nach acht Jahren PiS bedarf es einer Transition 2.0, die an die Transitionsprozesse der 1990er-Jahre anknüpft.

**EIN FEDERSTRICH
DES GESETZ-
GEBERS WIRD
NICHT GENÜGEN:
ES BRAUCHT EINE
TRANSITION 2.0**

14

Nach dem Fall des Eisernen Vorhangs fand ein umfassender politischer, sozialer, wirtschaftlicher und rechtlicher Wandel statt, der zu demokratischer Rechtsstaatlichkeit in vielen mittel- und osteuropäischen Ländern und schließlich zu ihrem EU-Beitritt führte. Diese Staaten mussten zahlreiche Bedingungen erfüllen, um Mitglieder der EU zu werden. Dazu gehörten die sogenannten Kopenhagener Kriterien: Demokratie, Rechtsstaatlichkeit und Grundrechtsschutz. Sie wurden später als gemeinsame Werte von Union und Mitgliedstaaten in Artikel 2 des EU-Vertrags (EUV) kodifiziert. Dennoch vollzogen sich die Transitionsprozesse der 1990er-Jahre relativ autonom: Auch wenn es internationale und europäische Anreize, Inspiration und Unterstützung gab, verfügten diese Länder über einen großen Entscheidungsspielraum, wie sie mit ihrer Vergangenheit umgehen, den demokratischen Herausforderungen begegnen und ihre Verfassungen zukünftig gestalten wollten.

Heute wird sich eine Transition 2.0 innerhalb einer starken europäischen Einbettung vollziehen. Die jeweiligen Staaten sind Mitglieder der Europäischen Union und des Europarates. Die Mitgliedstaaten gehören zu einer europäischen Gesellschaft, welche die Werte aus Artikel 2 EUV teilt: Demokratie, Rechtsstaatlichkeit und Grundrechte. Wenn diese Werte in einem Mitgliedstaat unter Druck geraten, dann ist die gesamte europäische Gesellschaft betroffen.

Dem europäischen Recht kommt somit eine zentrale Rolle zu. Aus diesem Grund haben die EU-Institutionen in den vergangenen Jahren versucht, illiberalen Entwicklungen in den Mitgliedstaaten entgegenzuwirken. In deren Gegenwind haben sich die europäischen Mechanismen zu einem

kraftvollen Instrumentarium entwickelt. Ein Einfrieren von EU-Geldern, noch vor einigen Jahren undenkbar, ist heute akzeptiertes Druckmittel, um mitgliedstaatliche Regierungen zur Einhaltung europäischer Werte zu bewegen. Gleiches gilt für die Durchsetzung dieser Werte vor dem Gerichtshof der Europäischen Union.

Das Mandat der EU beschränkt sich jedoch nicht darauf, gegen eine Missachtung der gemeinsamen Werte vorzugehen. Die EU hat auch eine doppelte Rolle, wenn es um die Wiederherstellung dieser Werte geht: Zum einen beschränkt sie den Handlungsspielraum der neuen Mehrheit, zum anderen eröffnet sie neue Möglichkeiten demokratischer Transition, indem sie etwa die Machtstellung des PiS-treuen Verfassungsgerichts aushebelt. Das alles ist juristisches Neuland, das das Max-Planck-Institut für ausländisches öffentliches Recht und Völkerrecht gemeinsam mit einer Gruppe vornehmlich mittel- und osteuropäischer Juristinnen und Juristen erkundet hat, unter ihnen Polens neuer Justizminister, Adam Bodnar.

Sicher ist zum einen, dass europäisches Recht Reformprozessen Grenzen setzt. So müssen die Verfahren, mit denen die neue Mehrheit gegen Gesetze, Ernennungen und Maßnahmen vorgeht, die gegen die europäischen Werte verstoßen, selbst mit diesen Werten in Einklang stehen. Dies erfordert die Wahrung der Grundsätze der Rechtssicherheit und der Rechtmäßigkeit, die integraler Bestandteil der von Artikel 2 EUV garantierten Rechtsstaatlichkeit sind. Anders gewendet: Die Wiederherstellung demokratischer Rechtsstaatlichkeit muss in rechtmäßiger Weise, also unter Beachtung des nationalen Rechts, erfolgen. Demokratien lassen sich schneller demontieren als wiederherstellen.

Insbesondere schwere oder absichtliche Verstöße gegen nationales Recht können rechtsstaatliche Defizite darstellen und die gemeinsamen Werte verletzen. So haben die EU-Institutionen in der Vergangenheit bei der Feststellung eines Verstoßes gegen das Gebot der Rechtsstaatlichkeit aus Artikel 2 EUV berücksichtigt, dass der polnische Justizumbau offen gegen die polnische Verfassung verstößt. Es bedarf daher differenzierter Lösungen, die in einer Zusammenschau vieler rechtlicher Vorgaben und im Lichte des politisch und praktisch Machbaren zu entwickeln sind. Vor diesem Hintergrund erschien es hoch problematisch, wenn die neue Mehrheit pauschal alle Richterinnen und Richter absetzen würde, die unter der alten Mehrheit ernannt oder befördert wurden. Auch wenn diese Personen in rechtswidrigen Verfahren ernannt worden sind, bedeutet dies nicht automatisch, dass sie keine Richter sind, wie es von manchen polnischen Stimmen teilweise vertreten wird. Es ist auch zu berücksichtigen, dass diese Richterinnen und Richter Tausende von Urteilen gefällt haben, deren Geltung dann infrage stünde. Solch ein Radikal-schlag ist kaum mit dem Grundsatz der Rechtssicherheit vereinbar.

→

DAS EUROPÄISCHE RECHT SPIELT EINE ZENTRALE ROLLE

Hinzu kommt ein weiterer Aspekt. Die neue Regierung verfügt nicht über eine verfassungsändernde Mehrheit im Parlament, sodass die Rückkehr zu demokratischer Rechtsstaatlichkeit durch einfache Gesetze erfolgen muss. Solche Gesetze erfordern die Mitwirkung des PiS-freundlichen Präsidenten, und sie können am Verfassungsgericht scheitern, das Parteigänger der PiS dominieren. Auch hier stellen sich zahlreiche Fragen. Könnte man das Gericht nicht einfach mit neuen, unabhängigen Personen besetzen? Wohl nicht. Richterzahl und Amtsdauer sind in der polnischen Verfassung verankert. Ohne eine verfassungsändernde Mehrheit können diese Bestimmungen nicht geändert werden. Sofern die Richterinnen und Richter im Einklang mit der Verfassung ernannt worden sind, können sie nicht einfach abgesetzt werden. Sie bleiben bis zum Ende ihrer Amtszeit im Dienst. Im Übrigen würde ein vorzeitiger Austausch der Richterbank doch genau dem Wert zuwiderlaufen, um dessen Schutz es geht: der richterlichen Unabhängigkeit. Auch ein *court packing*, das heißt eine Erweiterung und damit teilweise Neubesetzung der Richterschaft, wie dies in Bezug auf den Supreme Court der USA immer wieder diskutiert wird, birgt Risiken. Denn eine solche Maßnahme droht die Autorität des Gerichts in den Augen der Bevölkerung weiter zu schwächen.

Die Wiederherstellung demokratischer Rechtsstaatlichkeit, so sehr sie auch angestrebt wird, rechtfertigt keine Verletzungen des polnischen Rechts. Ein elementarer rechtsstaatlicher Grundsatz lautet: Der Zweck heiligt nicht die Mittel. Die demokratische Transition muss also auf rechtmäßige Weise erfolgen, die neue Regierung muss wesentliche Anforderungen des nationalen Rechts einhalten.

Käme es zu einem Rechtsbruch, so könnten Mitglieder oder Anhänger der vorherigen Regierungskräfte Verfahren vor inländischen Gerichten einleiten. Sollten sie den Europäischen Gerichtshof (EuGH) anrufen, müsste dieser ihnen recht geben, unabhängig davon, dass sie für den Abbau an Demokratie verantwortlich zeichnen. Seine bisherigen Entscheidungen zur Rechtsstaatlichkeit in Polen haben dem EuGH den Vorwurf der alten polnischen Mehrheit eingetragen, er urteile nach seinen liberalen Sympathien. Die Kommission könnte sich in einer ähnlich schwierigen Situation befinden: Angesichts des Vorwurfs der früheren Regierung Polens, sie sei parteiisch und pflege eine Doppelmoral, wird die Kommission nicht untätig bleiben können. Der Versuch einer raschen und radikalen demokratischen Transition in Polen könnte also mit der Norm in Konflikt geraten, um deren Geltung es letztlich geht. Die Kommission müsste dann auch gegen die neue polnische Regierung wegen Verstößen gegen die Rechtsstaatlichkeit vorgehen.

Gleichwohl lässt das Unionsrecht die aktuelle Regierung nicht im Würgegriff der vorherigen, ja, es kann die Transition sogar substanziell befördern. Die neue Regierungsmehrheit sollte sich darauf konzentrieren, gegen besonders eklatante Verstöße vorzugehen. Denn nur besonders schwere,

regelmäßige oder absichtliche Verstöße gegen Demokratie, Rechtsstaatlichkeit und Menschenrechte können eine Verletzung der Unionswerte aus Artikel 2 EUV begründen. Doch nicht alle Bestimmungen, Ernennungen oder Maßnahmen der Vorgängerregierung werden diese Voraussetzung erfüllen.

Was folgt nun daraus? Das Unionsrecht – und damit auch Artikel 2 EUV – genießt Vorrang vor dem Recht der Mitgliedstaaten, einschließlich des Verfassungsrechts. Verstößt also nationales Recht gegen Unionsrecht, dürfen die betreffenden nationalen Bestimmungen von allen staatlichen Stellen, Gerichten, der Exekutive und Legislative nicht mehr berücksichtigt werden. Gleiches gilt für Entscheidungen des Verfassungsgerichts, die gegen Unionsrecht verstoßen. Auch diese sind nicht zu befolgen. Zusammenfassend: Wegen des Vorrangs des Unionsrechts wären Akte, die gegen die Unionswerte aus Artikel 2 EUV verstoßen, unanwendbar und stünden der demokratischen Transition grundsätzlich nicht mehr im Wege – allerdings nur bei einer höchst umsichtigen Nutzung der einschlägigen Rechtsgrundlagen, Standards und Verfahren.

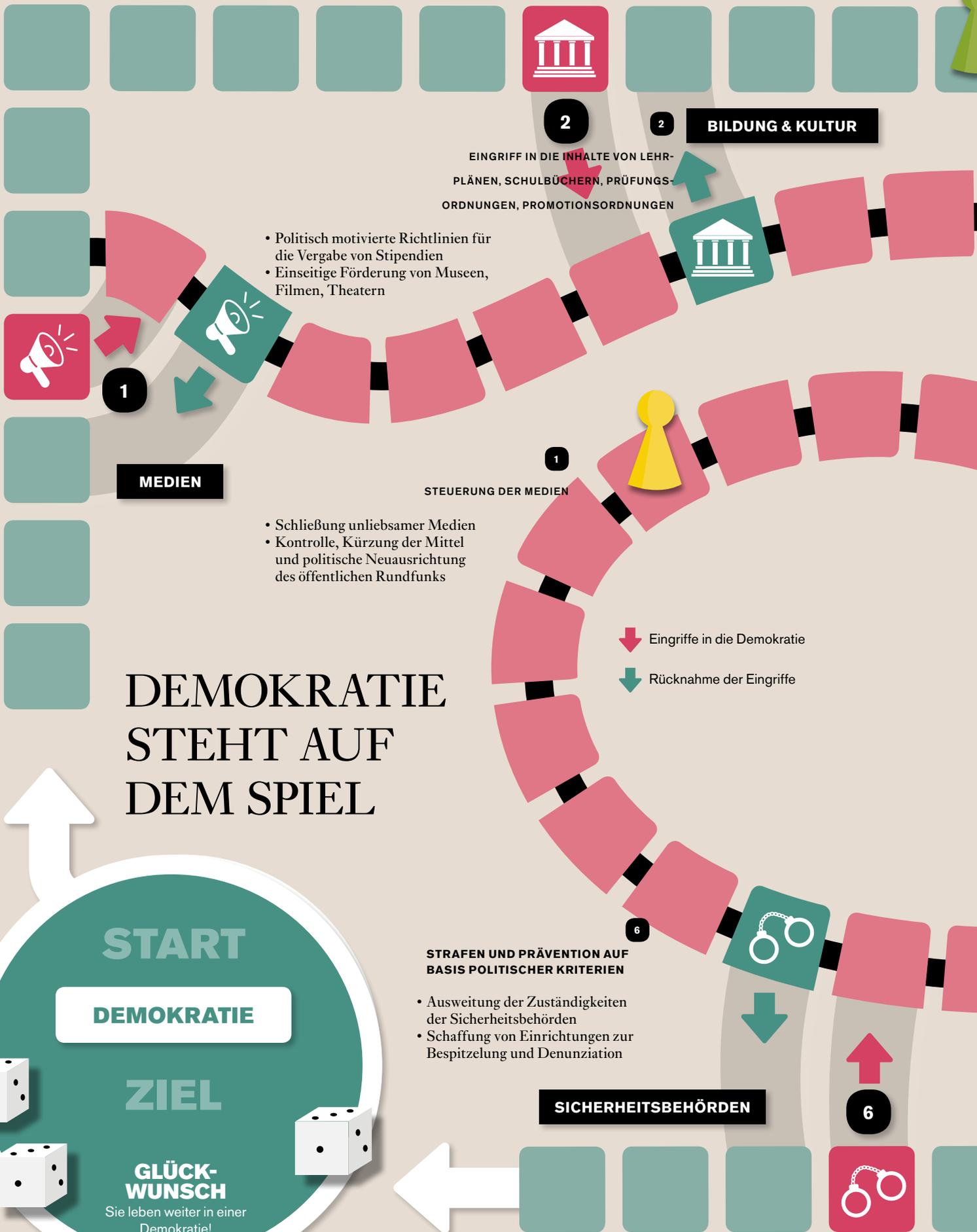
Damit diese komplizierte Operation möglichst glatt verläuft, bietet es sich zunächst an, dass Polens Regierung ihr Vorgehen mit der Europäischen Kommission für Demokratie durch Recht abstimmt. Dieses Expertengremium, besser bekannt als Venedig-Kommission, berät den Europarat in verfassungsrechtlichen Fragen und hat eine hohe Kompetenz bei der Begleitung demokratischer Transitionsprozesse. Das Gremium kann durch entsprechende Gutachten, die es auch kurzfristig erstellt, die polnische Transition absichern und legitimieren.

Zugleich gilt es aus der Vergangenheit zu lernen. Die Transition 2.0 darf die Fehler der Transition 1.0 nicht wiederholen. Vielfach wird eingewandt, dass die Transitionsprozesse der 1990er-Jahre zu technokratisch betrieben wurden. Sie haben dabei die Beförderung einer demokratischen Kultur in den Transitionsstaaten aus dem Blick verloren. Dem könnte durch eine stärkere Beteiligung der Bürger begegnet werden. Ein entsprechendes Format gibt es: die Konferenz zur Zukunft Europas, die zwischen dem

9. Mai 2021 und dem 9. Mai 2022 mit erstaunlichem Erfolg durchgeführt wurde – auch in Polen unter der PiS-Regierung. Mit diesem Format lässt sich die polnische Bevölkerung bei der Neugestaltung der Justiz involvieren. Dies könnte interessante Ideen hervorbringen, dem Vorwurf demokratiefernere Technokratie begegnen, einen parteiübergreifenden Dialog in Gang setzen und die PiS in ein Dilemma bringen: Entweder sie boykottiert die Konferenz und zeigt so, dass es ihr nicht um die Verbesserung der Justiz geht, oder sie beteiligt sich und verleiht dem neuen Prozess Legitimität.



DIE BETEILIGUNG DER BÜRGER BEFÖRDERT DIE DEMOKRATISCHE KULTUR



2 BILDUNG & KULTUR

EINGRIFF IN DIE INHALTE VON LEHR-
PLÄNEN, SCHULBÜCHERN, PRÜFUNGS-
ORDNUNGEN, PROMOTIONSORDNUNGEN

- Politisch motivierte Richtlinien für die Vergabe von Stipendien
- Einseitige Förderung von Museen, Filmen, Theatern



1 MEDIEN

1 STEUERUNG DER MEDIEN

- Schließung unliebsamer Medien
- Kontrolle, Kürzung der Mittel und politische Neuausrichtung des öffentlichen Rundfunks

↓ Eingriffe in die Demokratie
 ↓ Rücknahme der Eingriffe

6

STRAFEN UND PRÄVENTION AUF BASIS POLITISCHER KRITERIEN

- Ausweitung der Zuständigkeiten der Sicherheitsbehörden
- Schaffung von Einrichtungen zur Bespitzelung und Denunziation

SICHERHEITSBEHÖRDEN

6



DEMOKRATIE STEHT AUF DEM SPIEL

START

DEMOKRATIE

ZIEL

GLÜCK-WUNSCH

Sie leben weiter in einer Demokratie!

PARTEIEN & WAHLEN

3

3

ABLEHNUNG EINER KONSTRUKTIVEN, ÜBER-PARTEILICHEN ZUSAMMENARBEIT

- Manipulation von Wahlen
- Anzweifeln von Wahlergebnissen

VERWALTUNG

4

4

NEUAUSRICHTUNG DER VERWALTUNG

- Umstrukturierung und Entlassung unbeliebter Mitarbeitender
- Politisch motivierte Besetzung von Posten

DIKTATUR / AUTOKRATIE

PECH GEHABT

Sie leben jetzt in einer Diktatur und verlieren viele Ihrer Freiheiten!

EINGRIFFE IN DIE JUSTIZ

5

- Diskreditieren und Ignorieren unbeliebter Entscheidungen
- Politisch motivierter Umbau der Justiz
- Schaffung politischer Kontrollmechanismen

JUSTIZ & GERICHTE

5

IM FOKUS

(UN)FREI

20 | DIE KUNST DER LEISEN KRITIK

26 | IN DER ECHOKAMMER

32 | DIE GROSSE FREIHEIT

Protest in Knete: In Russland fertigen anonyme Street Artists Knetfiguren, die Verbotenes aussprechen. Die beiden auf einem Brückengeländer in Moskau fordern: „Hören Sie auf, Kinder zu töten“ (links). Und: „Stop bloody Vladdy“ – „Stopt den blutigen Wladi(mir).“



FOTO: ALEXANDRA ARKHIPOVA, YURI LAPSHIN (2023): «NO WOBBLE», V. 1.0, DISCUSS DATA

DIE KUNST DER LEISEN KRITIK

TEXT: TANJA BEUTHIEN

Repressionen und Zensur zeigen in Russland Wirkung: Protest muss neue Wege gehen. Kunstschaffende, die sich kritisch äußern, bedienen sich vielfach fantasievoller ästhetischer Taktiken aus der Zeit des Kalten Krieges. Am Kunsthistorischen Institut in Florenz erforscht Hana Gründler mit ihrem Team, wie die Kunst in Osteuropa autoritäre Strukturen umgeht und Räume der Freiheit eröffnet – damals und heute.

Es ist Frühjahr in Sankt Petersburg, Ende März 2022, als die Künstlerin Alexandra Skotschilenko einen Supermarkt betritt. Die vom Kreml so genannte „Militärische Spezialoperation“ in der Ukraine ist in vollem Gange, doch von Krieg darf keine Rede sein. Skotschilenko sieht sich um, zieht die Preisschilder aus den Schienen und tauscht sie aus. Anstelle des Sonderangebots für Instantkaffee ist nun ein ganzer Satz zu lesen: „Die russische Armee hat eine Kunstschule in Mariupol bombardiert, in der sich etwa 400 Menschen vor den Angriffen versteckt hatten.“ Und: „Rekordinflation durch Militäreinsatz.“ Oder: „Stoppt den Krieg!“ Wenige Tage später wird die Zeichnerin und Musikerin verhaftet. Und angeklagt wegen „Verbreitung wissentlich falscher Informationen über die russischen Streitkräfte“ – im russischen Strafgesetzbuch ein Straftatbestand, der kritische Stimmen ersticken soll.

Die Repressionen gegen die eigene Bevölkerung haben in Russland seit dem Angriff auf die Ukraine zugenommen. Gemäß russischen Nichtregierungsorganisationen sind seit Einführung des neuen Paragrafen über 250 Personen unter diesem Vorwand strafrechtlich belangt worden – und mehr als 800 Personen wegen Antikriegsaktivitäten. Längst ist die organisierte politische Opposition zerschlagen, der Kremlikritiker Alexej Nawalny kam in einem Straf- lager in der Polarregion zu Tode. In anderen Nachfolgestaaten der Sowjetunion ist die Situation ähnlich. So sind nach UN-Angaben im benachbarten Belarus derzeit etwa 1500 politische Gefangene inhaftiert. Doch wie sind Widerstand und kritische Kunst möglich, wenn Kunstaktionen mit drastischen Strafen sanktioniert werden können? Hana Gründler, Forschungsgruppenleiterin am Kunsthistorischen Institut in Florenz – Max-Planck-Institut, untersucht mit ihrem Team am Beispiel Osteuropa, wie Kunst und Philosophie in einem repressiven System als subversive Praktiken verstanden werden können. „Wann hat Kunst eine politische Sprengkraft, und wie bestimmen wir überhaupt den Begriff des Politischen?“, fragt Gründler.

„Öffentlichkeit war in totalitären Ländern schon immer ein ambivalenter Zwischenbereich“, so die promovierte Bildwissenschaftlerin und Philosophin. Satellitenstaaten der Sowjetunion, etwa Ungarn, die Tschechoslowakei und auch die ehemalige DDR, waren bis 1991 im Warschauer Pakt straff zusammengeführt. Die sozialistischen Länder waren Moskau unterworfen und gleichgeschaltet, die Bewohner oft Bespitzelungen und politischer Verfolgung ausgesetzt. Reformbestrebungen

wie den Volksaufstand in Ungarn 1956 und den Prager Frühling 1968 haben sowjetische Truppen gewaltsam unterdrückt. Protest war nur schwer möglich.

Im repressiven Klima der 1970er-Jahre beginnt unter anderem der tschechische Künstler Jiří Kovanda, den streng überwachten öffentlichen Raum für Kunstaktionen zu nutzen. Ähnlich wie Alexandra Skotschilenko den Supermarkt als Aktionsfeld suchte, bespielt Kovanda zu seiner Zeit die Fußgängerzone der Stadt. Mit ausgebreiteten Armen postiert er sich auf dem Prager Wenzelsplatz. Passanten müssen ihn umrunden, drehen sich nach ihm um. In dieser und anderen Aktionen wird er zu einem Störfaktor im Stadtgetriebe, einem unerklärlichen Hindernis, einer Irritation. Dabei erinnert Kovanda nicht explizit an den Einmarsch der sowjetischen Truppen oder an die Panzer in der Prager Innenstadt. Und auch nicht an den Suizid des 20-jährigen Studenten Jan Palach, der sich im Januar 1969 mit Benzin überschüttete und anzündete, um gegen die Invasion und die Repressionen der sowjetischen Besatzer zu protestieren. Jiří Kovandas Performance ist subtil. Und nur sichtbar für diejenigen, die stehen bleiben und den Künstler beobachten. Ein Akt der Widerständigkeit mit dem eigenen Körper.

„Diese Performances haben in den 1970er-Jahren in der Phase der sogenannten Normalisierung in der ČSSR unter sehr schwierigen und riskanten Bedingungen stattgefunden. Dabei sperrten sich die Künstlerinnen und Künstler aber auch gegen allzu plakative politische Deutungen“, erklärt Gründler. Sie griffen auf die kleinen Gesten zurück, wenn die großen nicht möglich waren. Und sie verbreiteten sie anschließend mit Fotos oder kritischen Schriften im inoffiziellen Selbstverlag, im „Samisdat“, in dem nicht systemkonforme Texte gedruckt wurden – auch im Westen. „Viele Künstler sind emigriert; es gab Kanäle, über die Dokumentationen solcher Aktionen bekannt gemacht wurden. Etwa durch Exilzeitschriften und Kunstmagazine wie *Flash Art* oder auch durch Ausstellungen in Deutschland und Frankreich. Der Eisernen Vorhang war durchlässiger als gedacht.“

Heute dient das Internet als Multiplikator für Protestaktionen. So wurden im April 2022 die Fotos einer Person veröffentlicht, die sich in Moskau gefesselt und geknebelt an verschiedenen Orten auf den Boden legte, um so an Gräueltaten russischer Soldaten an Zivilisten in Butscha zu erinnern. Aber es gibt auch subtilere Formen des künstlerischen und zivilgesellschaftlichen Widerstands, die bewusst oder unbewusst an die ästhe-

AUF DEN PUNKT GEBRACHT

Seit dem Überfall auf die Ukraine im Februar 2022 hat sich der Druck auf die Zivilbevölkerung und auf die Kunstszene in Russland noch einmal erhöht.

Die Bildwissenschaftlerin und Max-Planck-Forscherin Hana Gründler erforscht mit ihrem Team in Florenz die Widerständigkeit von Kunst, Kultur und Philosophie unter repressiven Regimen in Osteuropa seit 1945.

Auch heute nutzen Künstler und Künstlerinnen wieder die subtilen Protestformen der Vergangenheit und interpretieren sie neu.

BILD: RICHARD UUTMAA, „BUCHT BEI PUISE“, ÖL AUF LEINWAND, UM 1955, ESTNISCHES KUNSTMUSEUM, TALLINN



Provokation durch Nostalgie: In Richard Uutmaas Gemälde (um 1955) fehlen die Symbole des Stalinismus: Fortschritt, Arbeit und Ordnung. Stattdessen herrscht Muße. Ein Idyll statt Geschäftigkeit.

BILD: ZORKA SÁGLOVÁ, „AUSLEGEN DER WINDELN BEI SUDOMĚŘ – KLADENÍ PLÍN U SUDOMĚŘE“, AKTION, 1970



Kritik in Stoff: Zorka Ságlová erinnert 1970 mit ihrer Land-Art-Aktion an eine Legende der tschechischen Geschichte aus dem Jahr 1420, wonach hussitische Frauen Kleider auf dem schlammigen Grund eines Teiches auslegten, damit sich die Pferde der Feinde in den Stoffen verhedderten. Ságlová steht für leisen weiblichen Protest.

tischen Praktiken der 1970er-Jahre anknüpfen. Die kritische Bevölkerung nutzt derzeit verstärkt Kunst und Graffiti im öffentlichen Raum, um das Unsagbare zu verdeutlichen – und in Netzwerken zu teilen. Die Seite *No wobble!* (<https://nowobble.net>) beispielsweise dokumentiert anonyme Street-Art in Russland gegen den Krieg. Zu sehen sind etwa Legofiguren, die weiße Blätter in die Höhe halten und damit an die White-Paper-Proteste erinnern, Knetfiguren, die ein Schild tragen mit der Aufschrift „Нет Войне“ („Nein zum Krieg“) – oder einfach ein durchgestrichener Karpfen: Das Wort *wobla* (Karpfen) ersetzt in diesem Fall das nahezu gleichlautende *woina* (Krieg).

Spielerisch wirkt das alles – und machtlos. „Das sieht nach harmlosen Gesten aus. Aber in einem oppressiven System sind das ganz starke Zeichen“, so Gründler. „Es gibt ästhetische Praktiken der inoffiziellen Kultur des Undergrounds, in der alltägliche Prozesse infrage gestellt werden. Viele Positionen wollen die Betrachtenden dazu animieren, ihre eigene Sicht der Realität zu hinterfragen, und im Sinne einer Graswurzelbewegung Veränderungen der Wahrnehmung herbeiführen – die letztlich auch zu Veränderungen der politischen Realität führen können.“ Hana Gründler spricht nicht von der Unfreiheit der Kunst, sondern sieht, „dass die Kunst Räume der Freiheit eröffnet“.



Als Beispiel aus der Vergangenheit nennt Hana Gründler eine Collage des tschechischen Künstlers und Dichters Jiří Kolář. Diese zeigt den Ausschnitt eines ikonischen Pressefotos: eine brennende Straßenbahn, die am 21. August 1968 während des Einmarschs der Sowjettruppen in der Nähe des tschechoslowakischen Rundfunks aufgenommen wurde. Darüber klebt Kolář eine Hand, die das Porträt Dante Alighieris präsentiert – eines Dichters, der sich nicht den Mund verbieten ließ und aus politischen Gründen ins Exil musste so wie Jahrhunderte später auch Kolář, der die französische Staatsbürgerschaft annahm. „Das ist keine Agitprop, keine plakative politische Kunst“, sagt Gründler. „In den Zeiten des Sozialistischen Realismus wurde von der Kunst erwartet, dass sie die Realität ‚korrekt‘ und politisch eindeutig wiedergebe. Dagegen beharrten Künstlerinnen und Künstler wie Kolář auf der Komplexität und Uneindeutigkeit der Lebenswelt. Die von der staatlichen Kunstdoktrin verpönte Fantasie wurde dabei zu einem wirkmächtigen Instrument der Sensibilisierung.“ Wichtig sei die Fähigkeit, „zwischen den Zeilen zu lesen“.

Viel Fantasie erfordert es auch, ein Gemälde des estnischen Malers Richard Uutmaa zu entschlüsseln. Oliver Aas, Doktorand in Gründlers Florentiner Forschungsgruppe, nennt es als Beispiel für eine unerschwerliche Unterwanderung herrschender Narrative. Auf den ersten Blick lässt sich in *Bucht bei Puise* (1955) nur ein „banales“ Landschaftsbild erkennen. Aber im kulturellen Kontext des damaligen Stalinismus gelesen, handelt es sich um eine ungeheure Provokation: eine unpolitische, rein ästhetische Landschaftsdarstellung, die politischer nicht sein könnte.

Man muss im Kleinen anfangen

Auch die Künstlerin Zorka Ságlová hinterfragt gängige Erzählmuster, als sie 1970 in einer Land-Art-Aktion 700 weiße Windeln auf einem Feld im böhmischen Sudoměř auslegt. Mit ihrer Performance erinnert sie an eine der berühmtesten Schlachten der tschechischen Geschichte im Jahr 1420. Der Legende nach beschlossen der Hussitenführer Jan Žižka und die hussitischen Frauen, Kleider auf dem schlammigen Grund eines Teiches auszulegen, damit sich die Pferde der katholischen Adligen in den Stoffen verheddern würden. „Diese Geschichte der Hussiten haben sich die Kommunisten angeeignet und als ein stark heroisches, männliches Narrativ weitergetragen. Ságlová deutet es um. Sie zeigt, wie Frauen eine ganze Reiterarmee zu Fall gebracht haben. Und spielt somit auf weibliche, vermeintlich unheroische Formen des Widerstands an“, sagt Hana Gründler.

Doch wie erfolgreich sind solche künstlerischen Praktiken? Wie ist die Resonanz der Bevölkerung auf solche Kunstaktionen? „Ságlovás Performance ist außerhalb eines kleinen Kreises der inoffiziellen Kultur damals



Protest durch Information: Statt Preise benennen Alexandra Skotschilenkos Etiketten in einem Sankt-Petersburger Supermarkt den Krieg in der Ukraine, etwa: „20 – Putin lügt uns über Fernseher seit

20 Jahren. Das Ergebnis dieser Lüge: unsere Bereitschaft, einen Krieg zu rechtfertigen, und sinnlose Tode.“ Oder: „4300 – Stoppt den Krieg. In den ersten drei Tagen sind 4300 russische Soldaten gefallen. Warum schweigt das Fernsehen darüber?“

wahrscheinlich nur wenig wahrgenommen worden“, so Gründler. „Aber wie Václav Havel gezeigt hat, ist es in einem derart repressiven System schon viel, wenn nur ein paar Leute ihre Meinung ändern. Man muss im Kleinen anfangen: So wie etwa der Gemüsehändler aus Havels Essay *Versuch, in der Wahrheit zu leben* am 1. Mai eben keine Banner ins Schaufenster hängt und somit der offiziellen Phrasendrescherei keinen Raum gibt. Es sind Bottom-up-Strategien, die helfen, die zivilgesellschaftliche Passivität zu überwinden, und die zu einer ethisch-politischen Transformation führen können.“

In der einstigen Tschechoslowakei hat die Geschichte den Künstlern und Dissidenten recht gegeben. 1989 ist es, wie in anderen Ländern des „Ostblocks“, zur weitgehend gewaltfreien „Samtenen Revolution“ gekommen. Der Dramatiker Václav Havel spielte dabei eine wesentliche Rolle. „Der scharfe Regimekritiker verbrachte als politischer Häftling mehrere Jahre im Gefängnis und schrieb dort wöchentlich Briefe an seine Frau Olga. Die *Briefe an Olga* sind ein Ausdruck der Hoffnung und der Menschlichkeit in dunklen Zeiten und besitzen heute, da viele Künstler und Oppositionelle inhaftiert sind, wieder eine besondere Aktualität“, sagt Hana Gründler. „Wir müssen uns aus unserer sicheren Position klarmachen, welchen Gefahren sich Künstlerinnen und Künstler derzeit in Russland oder Belarus aussetzen.“ Ales Puschkin etwa, der 1999 eine Schubkarre mit Mist vor Alexander Lukaschenkos Präsidialverwaltung in Minsk ausleert und kurzzeitig verhaftet wird. 2021 stellt er die Performance in einer Ausstellung in Kiew noch einmal nach. Und kehrt, obwohl ihm ein Strafverfahren droht, nach Belarus zurück. Wegen „Verunglimpfung staatlicher Symbole“ kommt er kurz darauf ins Gefängnis. Und stirbt im Sommer 2023 unter ungeklärten Umständen – ähnlich wie Nawalny – in der Haft.

Oder eben Alexandra Skotschilenko, die im November des vergangenen Jahres für ihre Supermarktaktion zu sieben Jahren Gefängnis verurteilt wurde. „Im März 2022 war der Krieg eine ‚Spezialoperation‘. Aber Skotschilenko benennt ihn als das, was er ist“, so Gründler.

Nach Auskunft von Amnesty International sitzt die 33-Jährige trotz mehrerer chronischer Krankheiten noch immer in einem Untersuchungsgefängnis in Sankt Petersburg und wartet auf ihre Berufung Anhörung. Es sei unwahrscheinlich, dass sie einen fairen Prozess bekomme, so die Menschenrechtsorganisation. Es bleibe nur die Hoffnung auf eine humane Behandlung im Strafvollzug. Aus der Untersuchungshaft schreibt Skotschilenko unterdessen Medienberichten zufolge in einem Brief, dass sie all das verkörpere, „was für Putins Regime unerträglich ist: Kreativität, Pazifismus, LGBT, psychologische Aufklärung, Feminismus, Humanismus und Liebe zu allem Hellen, Uneindeutigen und Ungewöhnlichen“.

Für die Wahrheit in Haft

Ob und wie sich die Repressionen in Russland nach der Wahl im März weiter verschärfen, ist im Augenblick kaum abzusehen. Im vergangenen Jahr schon wurden die Direktionen der Kunstmuseen landesweit mit staatsnahen Personen besetzt, beobachtet die Kunsthistorikerin Sandra Frimmel von der Universität Zürich. Es gebe aktuell keine verlässliche künstlerische Staatsdoktrin, „keinen Kanon des Erlaubten, eher einen Kanon des Verbotenen“. Alle Institutionen und Formen von Kunst, seien es Zirkus, Theater oder Museen, sollen „staatliche Werte“ vertreten. Verunglimpfungen der Streitkräfte, religiöser Symbole, „Propaganda von Homosexualität“ sind generell verboten. Sogar der Regenbogen, der als LGBTQ+-Symbol gelesen werden könnte, steht auf dem Index. Eine ähnliche Politik hat bis vor Kurzem auch die nationalkonservative Partei PiS in Polen während ihrer achtjähri-

gen Regierungszeit von 2015 bis 2023 verfolgt. Magdalena Nieslony, die Visiting Scholar in Hana Gründlers Team war, zeigt in ihrer Forschung, wie unter der rechtsgerichteten Regierung die „Kulturpolitik zu einem zentralen Kampfplatz der Indoktrinierung“ wurde. Das ändert sich nun mit der neuen Regierung von Ministerpräsident Donald Tusk. Zur Biennale in Venedig 2024 bespielt das ukrainische Kollektiv „Open Group“ den polnischen Pavillon mit einem Performancevideo – der Beitrag eines rechtsgerichteten Künstlers wurde im Januar zurückgezogen.

In Russland dagegen gehe es in diesem Augenblick eher um „die Schaffung von Solidaritätsnetzwerken, um kleinere, vertrauensbildende Maßnahmen, darum, mehr Hoffnung zu schaffen, und um das Bemühen, Gräben zu überbrücken“, sagt Alexander Borodikhin, Journalist und Herausgeber von *Mediazona*, einem der größten russischen Oppositionsmedien. „Die allgemeine Demobilisierung und Desensibilisierung der vergangenen Jahrzehnte hat eine gewisse erlernte Hilflosigkeit hervorgebracht“, so Borodikhin. Künstlerischer Protest sollte seiner Ansicht nach nicht so sehr als ein praktikables Mittel betrachtet werden, um die bestehende Ordnung infrage zu stellen. „Kunst kann eine Form sein, um die Verbundenheit wiederzubeleben – und nicht der Rammbock, wie einige Dissidenten es hoffen.“ Es ist die Taktik der kleinen Schritte, wie sie schon seit Jahrzehnten von Künstlerinnen und Künstlern angewandt wird. Denn, wie Hana Gründer sagt: „Kunst muss nicht eindeutig politisch sein. Aber als ethische Kleinarbeit eröffnet sie Möglichkeiten des Andersdenkens.“ Und Perspektivenwechsel haben schließlich schon Revolutionen ausgelöst.

www.mpg.de/podcasts/unfreiheit

Straflager für Botschaften gegen den Krieg: Obwohl ihr zehn Jahre Haft wegen „Falschinformationen über das russische Militär“ drohten, tauschte Alexandra Skotschilenko im März 2022 in einem Supermarkt Preisetiketten gegen Zettel mit Antikriegsbotschaften aus. Im November 2023 wurde sie zu sieben Jahren Lagerhaft verurteilt.



FOTO: PICTURE ALLIANCE / REUTERS | ANTON VAGANOV

Im Widerhall: Soziale Medien profitieren davon, Gleichgesinnte zusammenzubringen - zulasten der Meinungsvielfalt.



IN DER ECHOKAMMER

*TEXT:
SABINE FISCHER*

Studien zeigen: Je lauter politische Minderheiten in den sozialen Netzwerken schreien, desto stiller wird die demokratische Mehrheit. Hass, Hetze und Propaganda gedeihen in Echokammern besonders gut, dadurch wird die Wahrnehmung im politischen Diskurs verzerrt.

Forschende untersuchen dieses Phänomen sozialwissenschaftlich, juristisch und mathematisch.

Es ist laut am Rednerpult des Deutschen Bundestags. Wenn Beatrix von Storch (Alternative für Deutschland) dort gegen den Green New Deal wettert oder wenn ihr AfD-Kollege René Springer „massenweise Remigration“ fordert, schallen fast sekundlich Gegenrufe durch den Plenarsaal. Laute Argumente aus den Reihen der restlichen Fraktionen, empörte Widerrede, Aufforderungen, nun doch bitte zum Ende zu kommen. In der Kommentarspalte des TikTok-Profiles, das die Bundestagsfraktion der AfD betreibt, findet man hingegen kaum Widerworte. Hier, wo regelmäßig Ausschnitte solcher Redebeiträge veröffentlicht werden, scheint die Community sich einig: Endlich sagt es mal jemand.

Emotionalisieren und provozieren

Dominiert werden diese Beiträge von schrillen Aussagen, die das Social-Media-Team der Partei prominent und gut sichtbar in die Mitte der jeweiligen Videos schreibt: „Wir brauchen die Festung Europa!“, „Die Bürger werden über den Tisch gezogen!“, „Wie verblödet kann man sein?!“ Laute Parolen in schwarzer Schrift auf weißem Hintergrund – eine Aufmachung, die auf den ersten Blick seriös wirkt und gerade deshalb umso gefährlicher ist.

28

Was in der Community viel Zustimmung auslöst, sind in Wahrheit aufs Äußerste zugespitzte Aussagen ohne Kontext, die sich nicht überprüfen lassen – eine Form von Propaganda, die in den sozialen Medien besonders gut funktioniert: „Die Beiträge der AfD-Bundestagsfraktion sind ein gutes Beispiel dafür, wie solche Inhalte auf sozialen Plattformen funktionieren“, sagt Philipp Lorenz-Spreen, der sich am Max-Planck-Institut für Bildungsforschung unter anderem mit dem selbst organisierten Onlinediskurs und dessen Auswirkungen auf die Demokratie beschäftigt. „TikTok ist auf kurze Inhalte mit Knalleffekten optimiert, die für ein paar Sekunden Aufmerksamkeit auf sich ziehen. Solche provokanten, emotionalisierten Inhalte belohnt das System und spielt sie häufig aus.“

Diese Formel scheint die AfD verstanden zu haben: Mit ihren Formaten erreicht die Bundestagsfraktion auf TikTok regelmäßig Hunderttausende Personen – Zahlen, von denen andere dort vertretene Parteien nur träumen können. Viele von ihnen haben das Potenzial und die Reichweite dieses Netzwerks lange Zeit unterschätzt. Beiträge der Bundestagsfraktionen von CDU oder SPD erreichen auf TikTok durchschnittlich nur niedrige fünfstellige Bereiche. Mit fatalen Folgen: Hatespeech, Populismus und Propaganda wandern so in die Feeds zahlloser Userinnen und User – und das oft, ohne dass sie auf den ersten Blick erkennbar wären. Wie beeinflussen Algorithmen unsere Meinungsbildung? Können wir uns in den sozialen Medien über-

haupt frei bewegen oder entscheiden? Lorenz-Spreen ist sehr skeptisch. Die Vorstellung, dass Menschen sich auf sozialen Plattformen frei bewegen könnten, sei eine Illusion: „Alles, was man im Feed zu sehen bekommt oder worauf unsere Aufmerksamkeit gelenkt wird, ist von der jeweiligen Plattform vorgegeben und konstruiert. Einen neutralen Raum kann es daher nicht geben.“ Dass Nutzerinnen und Nutzer mit dem Aufrufen ihres Profils auf Instagram, Facebook oder TikTok in einen Raum treten, der die eigene Entscheidungsfreiheit einschränkt, bleibt für sie zunächst unsichtbar. „Es mangelt massiv an Transparenz“, erklärt Lorenz-Spreen. „Als Nutzerinnen und Nutzer sehen wir lediglich eine angenehme, glatte Benutzeroberfläche. Wir haben keine Informationen darüber, wie und woher die Inhalte kommen, die uns angezeigt werden, oder warum uns andere Inhalte nicht angezeigt werden.“ Informationen darüber, warum Inhalte im Feed angezeigt werden und welche Quellen sie eigentlich haben, sind meistens schlicht nicht verfügbar. Auch aufmerksame Personen können sich aus dieser Falle kaum befreien.

Forscher im Netz: Philipp Lorenz-Spreen ergründet die Grundlagen für Hass und Desinformation im Netz.

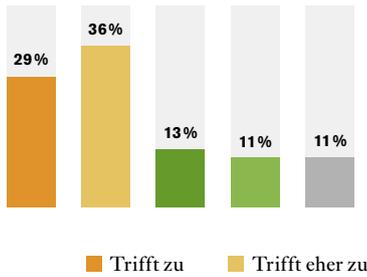


FOTO: GESINE BORN FÜR MPFG

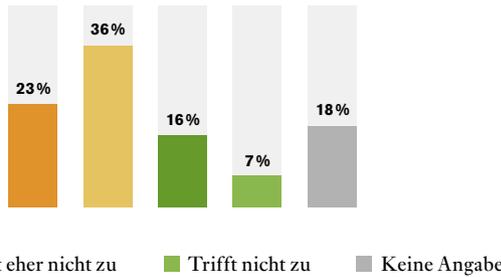
Hass und Hetze in sozialen Netzwerken nehmen zu und bringen Mehrheiten zum Schweigen. Das fand das Jenaer Institut für Demokratie und Zivilgesellschaft in einer Onlinebefragung mit 7349 Personen ab 18 Jahren in Deutschland heraus.

WIE BEWERTEN SIE FOLGENDE AUSSAGEN?

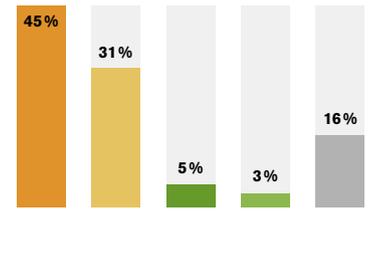
Mich überrascht bei manchen Themen, wie groß die Zustimmung zu Hasskommentaren ist.



Durch den öffentlichen Hass im Netz hat sich verändert, was man auch außerhalb des Internets sagen kann und was nicht.



Aggressive und abwertende Kommentare im Netz haben in den letzten vier Jahren zugenommen.



Trifft zu Trifft eher zu Trifft eher nicht zu Trifft nicht zu Keine Angabe

Quelle: IDZ

GRAFIK: GCO NACH INSTITUT FÜR DEMOKRATIE UND ZIVILGESELLSCHAFT (IDZ)

Mehr Transparenz zu schaffen, sei jedoch auch für die Plattformen selbst schwierig, findet Lorenz-Spreen. „Wenn wir als Nutzende zum Beispiel die ganze Zeit angezeigt bekämen, wie der Algorithmus im Hintergrund funktioniert, würde uns das überfordern und die Nutzung stören.“ Eine Lösung sieht er eher in spielerischen Ansätzen: „Plattformen könnten Nutzerinnen und Nutzer den Algorithmus spielerisch verändern lassen. Wenn man zum Beispiel einstellen könnte, dass man mehr politische Inhalte angezeigt bekommen möchte, würde man gleichzeitig ein Bewusstsein dafür entwickeln, dass Inhalte vorab selektiert werden.“

Doch kommerzielle Plattformen verfolgen eigene Ziele: Um wirtschaftlich erfolgreich zu sein, müssen sie ihre Userinnen und User möglichst lange halten. Aufmerksamkeit wird zur Währung. Damit diese in möglichst hohen Raten bezahlt wird, nutzen soziale Medien die menschlichen Bedürfnisse nach Unterhaltung und Bestätigung. Wer verbringt schließlich nicht gern Zeit an einem Ort, an dem er sich wohlfühlt und gut unterhalten wird?

Doch das führt dazu, dass sich auf diesen Plattformen soziale Echokammern bilden. „Menschen sind soziale Wesen und umgeben sich gern mit anderen, die ähnliche Ansichten teilen. Wir sind homophil und streben nach einem kohärenten Weltbild. Daher entstehen oft Gruppen von Menschen, die ähnliche Ansichten haben“, so Lorenz-Spreen. Soziale Netzwerke wirkten hierbei wie ein Katalysator, erklärt er weiter. „Auf diese Weise befriedigen Plattformen ihr kommerzielles Bedürfnis, Nutzerinnen und Nutzer so lange wie möglich zu binden, und fördern gleichzeitig die Bildung sozialer Echokammern.“ Doch in Räumen, in denen das eigene Weltbild von allen Seiten bestätigt wird, sind Menschen anfälliger

für Phänomene wie Propaganda, Hatespeech und Falschinformationen: „Eine Erklärung dafür ist der *false consensus*, also das Gefühl, dass einem plötzlich Tausende von Menschen zustimmen, und man glaubt, das sei die Mehrheit“, so Lorenz-Spreen. Dazu kommt außerdem ein demokratisches Problem: „Soziale Echokammern eignen sich nicht für die Debattenkultur“, sagt Lorenz-Spreen.

Sichtbare Öffentlichkeit im Netz

Diese Erkenntnis lässt sich sogar messen: Am Max-Planck-Institut für Mathematik in den Naturwissenschaften in Leipzig erforscht Eckehard Olbrich den Einfluss sozialer Medien auf die Demokratie und die Visualisierung der digitalen Öffentlichkeit. Er entwickelte in dem Projekt „Odyceus“ Instrumente, um die Ausprägung von Echokammern in sozialen Netzwerken zu messen. „Eine empirische Einsicht war, dass die Echokammern nicht geschlossen sind. Es kann also Austausch zwischen den einzelnen Lagern stattfinden – wenngleich dieser durchaus feindselig sein kann“, sagt er. Olbrich und sein Team untersuchten anhand von Clustern beispielsweise die Interaktion zwischen politisch linken und politisch rechten Netzwerken auf X (ehemals Twitter) in einer Fallstudie in Sachsen. „Wir fanden heraus, dass rechte Accounts auf linke Inhalte aktiver reagieren als umgekehrt.“

Welche Folgen haben Echokammern für den Einzelnen – und die Gesellschaft? Rund ein Viertel aller Internet-Nutzerinnen und -Nutzer ist laut dem Statistischen Bundesamt im vergangenen Jahr mit Hatespeech in



Kontakt gekommen. Eine Untersuchung des Instituts für Demokratie und Zivilgesellschaft (IDZ) hat ermittelt, was Hass und Hetze mit Betroffenen und dem öffentlichen Dialog machen. Das Ergebnis: Rund zwei Drittel der Personen, die selbst schon einmal davon betroffen waren, berichten von negativen Auswirkungen wie emotionalem Stress, Angst, Unruhe oder Depressionen. Personen, die im Internet mit Hatespeech in Berührung kommen, werden zudem eingeschüchtert und teilweise aus dem öffentlichen Dialog verdrängt. Rund die Hälfte der Befragten gaben in einer 2024 veröffentlichten Studie des „Kompetenzzentrums gegen Hass im Netz“ an, sich als Reaktion auf Hassrede seltener an Diskussionen im Internet zu beteiligen und ihre politische Meinung eher zu verheimlichen.

Die Auswirkungen auf die Gesellschaft sind gravierend. Philipp Lorenz-Spreen untersuchte zusammen mit Lisa Oswald, Stephan Lewandowsky und Ralph Hertwig, wie die Social-Media-Nutzung die Demokratie beeinflusst. Das Forschungsteam analysierte rund 500 wissenschaftliche Artikel, die korrelative und kausale Zusammenhänge zwischen der Nutzung sozialer Medien und politischem Verhalten aufzeigen. Ihr Ergebnis: Soziale Medien haben positive und negative Effekte auf die Demokratie. Sie erhöhen zwar die politische Partizipation und motivieren mehr Menschen zu Protestaktionen oder bürgerschaftlichem Engagement, zudem ermöglichen sie es auch besser als andere Medien, Menschen ihrem Bildungsgrad entsprechend zu informieren. Aber es gibt auch Nachteile. „Wir sehen viele Zusammenhänge zwischen dem Vertrauen in demokratische Institutionen und der Nutzung sozialer Medien. Das Vertrauen sinkt, je stärker Menschen soziale Medien nutzen.“ Die genaue Ursache sei Gegenstand weiterer Forschung, klar sei allerdings, dass Vertrauen in Institutionen ein Grundpfeiler einer funktionierenden Demokratie ist.

Die Studie zeigt auch, dass soziale Medien Propaganda und Populismus begünstigen: „Populistische Parteien sind auf sozialen Plattformen besonders erfolgreich, was sich auf die Offline-Welt überträgt. Dies steht im Zusammenhang mit dem Vertrauen in staatliche Institutionen selbst. Je schwächer dieses Vertrauen ist, desto leichter hat es der Populismus mit den Feindbildern.“ In sozialen Medien funktionieren dies besonders gut durch verkürzte Inhalte und das Gruppengefühl in den sozialen Echokammern. Alles in allem sieht Lorenz-Spreen Grund zur Sorge: „Wenn wir uns diese Ergeb-

nisse vor Augen führen, zumal in dem Wissen, dass Demokratien weltweit gerade in einer Krise stecken, sehe ich eine große Frage: Wie gehen wir damit um?“

Wie lässt sich das Biest der kommerziellen sozialen Plattformen zähmen? Lassen sich negative Effekte wie etwa Propaganda, Falschinformationen und Hatespeech eindämmen?

AUF DEN PUNKT GEBRACHT

Freiheit in den sozialen Medien ist eine Illusion: Algorithmen kommerzieller Plattformen schaffen einen künstlichen Raum. Der gibt vor, welche Inhalte in den jeweiligen Feeds der Nutzenden landen – meist unbemerkt.

Durch die Bildung sozialer Echokammern und das Belohnungssystem der Algorithmen sind Menschen in den sozialen Medien besonders anfällig für Propaganda, Hatespeech und Falschinformationen.

Die Nutzung sozialer Medien hat nachweislich negative Effekte auf das Vertrauen in demokratische Institutionen und fördert Propaganda.

So richtig erfolgreich waren diese Bemühungen bisher allerdings nicht, findet Johanna Rinceanu, Senior Researcher am Max-Planck-Institut zur Erforschung von Kriminalität, Sicherheit und Recht: „Wir beobachten online eine Verrohung der Debattenkultur, die bisher noch nicht eingedämmt werden konnte“, sagt die promovierte Juristin. Es hakt an vielen Stellen. So erschwert etwa die Geschwindigkeit der technischen Entwicklung die gesetzliche Regulierung. „Das Internet entwickelt sich in Lichtgeschwindigkeit, während die Gesetzgebung auf dem Pferd unterwegs ist und mit diesem Tempo nicht mithalten kann“, so Rinceanu. Außerdem steht der Versuch einer Regulierung immer im Spannungsfeld zwischen Meinungsfreiheit und dem Schutz vor Hass und Hetze. Eine Auslegung ist schwierig. Da Hate-

speech zum Beispiel keine juristische Definition hat, muss in jedem einzelnen Fall neu entschieden werden, ob Äußerungen als Volksverhetzung gelten und damit strafrechtlich relevant sind oder unter die Meinungsfreiheit fallen.

Einen gesetzlichen Rahmen für dieses Dilemma zu finden, ist schwierig. Der neueste Versuch: Der Digital Services Act (DSA) legt seit Februar fest, wie Onlineplattformen innerhalb der Europäischen Union mit Hatespeech, Fake News und Co. umzugehen haben. Welche Beiträge tatsächlich strafbar sein könnten, wird dabei durch das sogenannte „Notice and action“-Modell ermittelt: Nutzerinnen und Nutzer können den Plattformen potenziell strafbare Inhalte mitteilen, die diese dann überprüfen und gegebenenfalls löschen

„Hass und Hetze im Netz sind Symptome einer gesellschaftlichen Erkrankung.“

JOHANNA RINCEANU

müssen. Außerdem sind die Plattformen verpflichtet, bestimmte strafrechtlich relevante Inhalte an die zuständigen Behörden zu melden.

Bis zum Inkrafttreten des Digital Services Act geschah das in Deutschland aufgrund des sogenannten Netzwerkdurchsetzungsgesetzes (NetzDG). Europaweit galt es als Blaupause und Grundlage für die neue EU-Norm. Für die Rechtswissenschaftlerin Rinceanu war dieser Vorstoß jedoch ein Fehlversuch, Hass und Hetze im Netz beizukommen. Zwar sei die Intention, ein politisches Zeichen gegen Propaganda und Hass im Netz zu setzen, richtig gewesen. Doch das Gesetz sei zu schnell und zu undurchdacht verabschiedet worden. Zum Beispiel verpflichtete es private Unternehmen wie soziale Plattformen dazu, binnen kurzer Fristen (zwischen 24 Stunden und sieben Tagen) darüber zu entscheiden, ob ein Inhalt strafrechtlich relevant sei oder nicht. „Das ist nicht die Aufgabe von Privatpersonen, sondern der Justiz“, kritisiert Rinceanu. Weil die Frist für das Löschen rechtswidriger Beiträge zudem kurz und die Menge an Inhalten groß sei, hätten die Plattformen kaum Zeit, einzelne Inhalte angemessen zu prüfen. „Zwar kann diese Aufgabe durch künstliche Intelligenz und Algorithmen unterstützt werden, aber viele Feinheiten können von den Systemen noch nicht wahrgenommen werden: Poste ich einen Artikel zum Beispiel, um mich kri-

tisch dazu zu äußern oder weil ich seinen Inhalt verbreiten will? Am Ende braucht es immer eine Bewertung durch den Menschen.“ Doch dieser Aufgabe seien Mitarbeitende privater Unternehmen gar nicht gewachsen. Die Folge: „Die Sorge, das NetzDG führe dazu, dass übermäßig viele Inhalte gelöscht und gemeldet werden, war mit Blick auf die Entwicklung in den letzten fünf Jahren absolut berechtigt“, so Rinceanu. Sie verweist auf Staaten, die die Regelung übernommen haben. „Darunter waren auch viele sogenannte defekte Demokratien oder autokratische Systeme wie Kenia oder Belarus. Um Wahlen zu manipulieren, wurde hier dann mithilfe der Regelungen durchgesetzt, dass beispielsweise Inhalte gelöscht werden mussten.“

Der Digital Services Act, der große wie kleine Onlineanbieter in die Verantwortung nimmt, gibt Rinceanu Hoffnung. Sie begrüßt, dass die Verordnung keine konkrete Zeitspanne mehr für das Löschen der Beiträge vorgibt. So erhielten Plattformen mehr Zeit, um Inhalte angemessen zu prüfen. Zudem müssen nur noch solche Inhalte an die Behörden gemeldet werden, in denen es eine Bedrohung für das eigene Leben oder die persönliche Sicherheit gibt, zum Beispiel Morddrohungen. „Man muss jetzt sehen, ob der Digital Services Act nur eine Beautyfication ist oder ob er tatsächlich dazu beiträgt, dass soziale Plattformen effektiv reguliert werden“, sagt sie.

Juristin im Netz: Johanna Rinceanu untersucht, welche Vorschriften Hass im Netz eindämmen können.



FOTO: JESSICA ALICE HATH

Ein prominenter Anwendungsfall ist das Verfahren der EU-Kommission gegen TikTok wegen Defiziten beim Jugendschutz, fehlender Transparenz bei Werbung und mangelnden Datenzugangs für Forschende. Auch TikToks Risikomanagement in Bezug auf süchtig machendes Design und schädliche Inhalte steht auf dem Prüfstand. „Der Schutz von Kindern und Jugendlichen hat bei der Regulierung sozialer Plattformen oberste Priorität. Es überrascht nicht, dass die EU nun prüft, welche Risikobewertungen und Maßnahmen TikTok als sehr große Onlineplattform mit über 135 Millionen monatlichen Nutzern in der EU unternimmt, um dem Risiko von Verhaltensabhängigkeiten oder Radikalisierungsprozessen vorzubeugen“, sagt Rinceanu. Ein Verstoß gegen den DSA kann teuer werden: Bis zu sechs Prozent des weltweiten Vorjahresumsatzes muss TikTok als Geldbuße bezahlen, falls die EU-Kommission einen Verstoß feststellt. Wann das Verfahren abgeschlossen wird, ist noch offen.

Ob eine EU-Verordnung reicht, um Hass und Hetze in den Griff zu bekommen, wird sich zeigen. Um langfristig etwas zu ändern, müsse der Versuch einer Regulierung weitaus früher ansetzen, findet Rinceanu: „Hatespeech und Co. sind Symptome einer gesellschaftlichen Erkrankung, und wir müssen die zugrunde liegenden Strukturen und Dynamiken erst einmal aufdecken, um besser zwischen Symptomen und Ursachen unterscheiden zu können. Nur so kann man eine sinnvolle Diagnose stellen und die beste Therapie finden.“

www.mpg.de/podcasts/unfreiheit

Protest mit PS: Gut 2500 Traktoren zählte die Polizei am 12. Januar 2024 auf dem Nürnberger Volkspark bei einer Kundgebung gegen die geplante Streichung von Subventionen für die Landwirtschaft.



DIE GROSSE FREIHEIT

TEXT: NINA SCHICK



FOTO: NEWS / MERZBACH

Bauernproteste, Demokratie-Demos und Pro-Palästina-Aktionen: Deutschland erlebt eine Demonstrationswelle wie lange nicht mehr. Gleichzeitig fühlen sich viele Menschen Umfragen zufolge hierzulande nicht frei, ihre Meinung zu äußern. Zu Unrecht, wie Rechtsexperte Ralf Poscher am Max-Planck-Institut zur Erforschung von Kriminalität, Sicherheit und Recht feststellt.

Groß und grün steht er da, der John-Deere-Traktor eines Bauern vor einer Autobahnauffahrt zur A 10 bei Berlin. „Stirbt der Bauer, stirbt das Land“, steht auf einer Holzpalette, die vor den Kühler montiert ist. Er darf hier stehen, hat das Oberverwaltungsgericht Berlin-Brandenburg entschieden, und muss auch nicht nach einer halben Stunde den Weg freigeben, wie es die Polizei zur Auflage machen wollte. Platz lassen muss er allerdings für Einsatzfahrzeuge. Neben und hinter ihm weitere Trecker mit Protestparolen, grün, gigantisch und mächtig. Über Tage und Wochen blockieren sie und andere Deutschlands Autobahnen, Innenstädte oder Landstraßen immer wieder aufs Neue.

75 Jahre Freiheit

„Die Meinungsfreiheit (Artikel 5 des Grundgesetzes) und die Versammlungsfreiheit (Artikel 8) zählen zu den Grundpfeilern der Demokratie“, sagt Ralf Poscher, Direktor am Max-Planck-Institut zur Erforschung von Kriminalität, Sicherheit und Recht in Freiburg. „Artikel 5 soll die freie geistige Auseinandersetzung gewährleisten – nicht nur die geistige Auseinandersetzung im politischen Raum, aber natürlich auch gerade die“, erklärt der Professor für Öffentliches Recht. Dass beide Artikel vor 75 Jahren Eingang ins Grundgesetz gefunden haben, ist heute nach wie vor eine Errungenschaft.

34

Trotz der verfassungsrechtlichen Garantie der Meinungs- und Versammlungsfreiheit werden jedoch beide zunehmend als eingeschränkt wahrgenommen. Für die Meinungsfreiheit belegt das eine Umfrage des Instituts für Demoskopie Allensbach und Media Tenor von Dezember 2023. Danach gaben 44 Prozent der Befragten an, es sei besser, sich in der Öffentlichkeit nur vorsichtig zu äußern, vor allem wenn es um konservative oder rechts-populistische Ansichten geht. Nur 40 Prozent bekundeten das Gefühl, ihre politische Meinung frei sagen zu können. Die Werte haben sich innerhalb weniger Jahre stark verschoben. Noch 2017 war eine deutliche Mehrheit von 63 Prozent überzeugt, man könne frei reden. 1990 waren es sogar noch 78 Prozent der Befragten.

„Man muss zwei Dinge auseinanderhalten: einmal, was der Staat gegen Meinungsäußerungen und Versammlungen unternimmt, und auf der anderen Seite, welche gesellschaftlichen Sanktionen man unter Umständen zu gewärtigen hat, wenn man bestimmte Ansichten vertritt“, sagt Rechtsexperte Poscher. Als Grundrecht ist die Meinungsfreiheit zunächst einmal ein Abwehrrecht gegen den Staat und schützt vor Eingriffen durch den Staat. Für seine Meinung wird hierzulande niemand verhaftet.

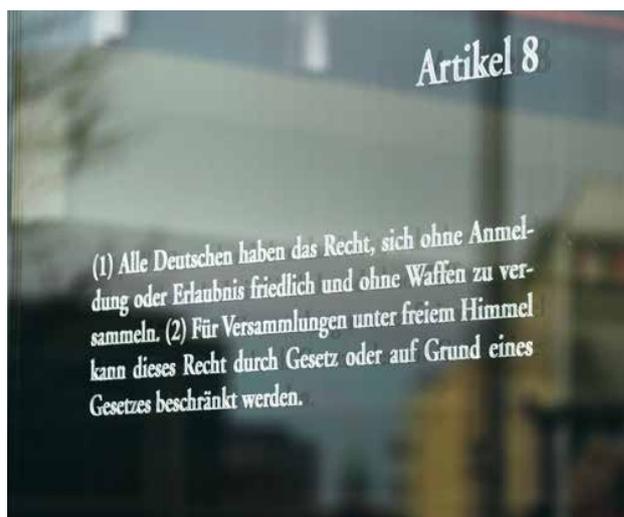
Dass gerade populistische Parteien nicht müde werden, dennoch eine Meinungs-*Un*freiheit festzustellen, beobachtet der Politikwissenschaftler Samuel Salzborn von

der Universität Gießen: „Meinungsfreiheit ist ein grundgesetzliches Abwehrrecht, sodass fast sämtliche ‚Debatten‘, die die extreme Rechte zu diesem Thema anzettelt, rein gar nichts mit Fragen der Meinungsfreiheit zu tun haben. Sie ist ein rhetorisches Ticket, um die Demokratie zu delegitimieren und zu destabilisieren.“ Wäre die Meinungsfreiheit in Deutschland ernsthaft eingeschränkt, könnte sich niemand darüber beschweren, ohne in Gefahr staatlicher Verfolgung zu geraten.

Das Bundesverfassungsgericht hat in Entscheidungen immer wieder klargemacht, welch hohen Rang es dabei der Meinungsfreiheit einräumt. Dies wirkt sich auch auf die einfachen Gerichte und Strafverfolgungsbehörden aus, wie beispielsweise 2018 bei der Entscheidung, eine diffamierende Äußerung des damaligen AfD-Fraktionschefs Alexander Gauland gegen die Integrationsbeauftragte als von der Meinungsfreiheit gedeckt zu sehen.

Auch im politischen Sektor reicht die Meinungsfreiheit weit. „Solange es um den Versuch geht, mit Argumenten, Positionen, Meinungen andere lediglich zu überzeugen, sind wir frei in der Auseinandersetzung“, erklärt Poscher. Dabei können auch Dinge vertreten werden, die durchaus nicht verfassungskonform sind. Solange es nur um die persönliche Meinung geht, darf sich jemand sogar für die Wiedereinführung der Monarchie einsetzen.“

Der breite Rahmen dieses Grundrechts erklärt sich aus der Geschichte. In das Grundgesetz sind die Erfahrungen der Weimarer Republik eingeflossen, die nicht durch einen Umsturz, sondern verfassungskonform abgeschafft wurde. Zwar kannte die Weimarer Reichsverfassung in Artikel 118 die Meinungsfreiheit. Diese war aber nicht – wie die Grundrechte heute – mit einer Ewigkeitsgarantie



Garantiert: Das Recht auf Protest ist ein Grundpfeiler der Demokratie.

Wie weit das Recht auf freie Rede und Protest reicht, erforscht Professor Ralf Poscher in Freiburg.

FOTO: BASCHI BENDER



„Versammlungsverbote sind immer das letzte Mittel.“

RALF POSCHER

ausgestattet, sondern konnte durch Notverordnungen, wie 1933 nach dem Brand des Reichstags geschehen, „bis auf weiteres“ und damit dauerhaft außer Kraft gesetzt werden. Dies sollte mit dem Grundgesetz nicht möglich sein: Die Demokratie sollte Freiheit bieten, aber im Gerüst wehrhaft sein. Sie sollte, wie es der Sozialdemokrat Carlo Schmid in einer Rede vor dem Parlamentarischen Rat im September 1948 formulierte, den „Mut zur Intoleranz denen gegenüber aufbringen, die die Demokratie gebrauchen wollen, um sie umzubringen“. Für die Meinungsfreiheit bedeutet dies: Die Leine ist lang, solange es um einzelne Auffassungen geht. Das Vertrauen, dass das Gerüst der Demokratie stabil ist und die einzelne Meinung sich im Diskurs abschleifen wird, ist groß. Eingegriffen wird dann, wenn diese Verfassungserwartung enttäuscht wird. „Die Idee, die man den Vorschriften im Grundgesetz über Vereinsverbote, Parteiverbote, auch über die Aberkennung von Grundrechten entziehen kann, ist: Die Demokra-

tie kann sich gegen verfassungsfeindliche Auffassungen wehren, wenn diese sich verfestigen, besonders institutionell in Vereinigungen und Parteien“, erklärt Rechts-
 Experte Ralf Poscher.

Einzelne Versammlungen sind noch keine solche Verfestigung einer verfassungsfeindlichen Auffassung. Um auf das Beispiel der Monarchie zurückzukommen: Auch für die Wiedereinführung der Monarchie dürfte man friedlich demonstrieren. Das Bundesverfassungsgericht räumt der Versammlungsfreiheit einen ebenso hohen Stellenwert ein wie der Meinungsfreiheit. Nicht einmal anmelden muss man die Versammlung laut Grundgesetz. Dass dies in der Praxis – außer bei Spontandemonstrationen – doch zu geschehen hat, soll dem Schutz der Versammlung und dem reibungslosen Ablauf dienen. Ralf Poscher sagt: „Das Versammlungsrecht ist Versammlungsermöglichungsrecht.“

Dabei bedeutet Anmeldepflicht nicht gleich Genehmigungspflicht. Reagiert die Behörde beispielsweise nicht auf eine Anmeldung, darf die Versammlung trotzdem stattfinden. Wo die Versammlung anzumelden ist, unterscheidet sich je nach Bundesland. Das kann die Polizei sein oder kommunale Behörden. Wenn die Versammlungsbehörde eine Gefahr im Zusammenhang mit der Demonstration sieht, muss sie versuchen, diese durch Auflagen einzudämmen – ein geänderter Routenverlauf,



ein Verbot für das Auftreten bestimmter Personen oder zeitliche Beschränkungen wie zuletzt bei den Bauernprotesten. „Ein Versammlungsbescheid kann gut ein Dutzend Auflagen haben“, erläutert Poscher. „Das Verbot einer Versammlung ist immer die Ultima Ratio.“

Der Rechtsstaat macht es sich nicht leicht mit dem Versammlungsverbot. Spricht die Versammlungsbehörde ein Verbot aus, steht der Rechtsweg offen, und es wird auch schnell entschieden. Die Veranstalter können sich an das Verwaltungsgericht wenden, von dort geht es gegebenenfalls zum Oberverwaltungsgericht oder Verwaltungsgerichtshof, je nach Bundesland. So hielten etwa viele pauschale Verbote propalästinensischer Versammlungen nach der Terrorattacke der Hamas auf Israel vom 7. Oktober in erster und zweiter Instanz nicht stand. In Frankfurt etwa lagen zwischen Verbot und Entscheidung des Hessischen Verwaltungsgerichtshof gerade mal zwei Tage.

Gerichte als Wächter

Woher kommt der Impuls der Exekutive, Demonstrationen zu verbieten? „Die Politik ist immer wieder in Versuchung, die Freiheiten, die die Grundrechte gewähren, einzuschränken“, beobachtet Poscher, Co-Autor des *Handbuchs des Polizeirechts*. „Die Grundrechte sind auch dafür da, solche Überreaktionen abzuwehren.“ Laut Poscher, der sich mit der Geschichte und den dogmatischen Strukturen des öffentlichen Sicherheitsrechts befasst, kommt es gerade in Zeiten multipler Krisen entscheidend auf die Gerichte an: „Sie sind es, die nachträglich abwägen, die korrigieren, das Verhältnis von Bürger und Staat wieder ins Lot bringen.“

Vielfach werden Entscheidungen zu den jüngsten Protesten erst im Nachhinein fallen. Gerade hat die Coronakrise gezeigt, wie sich der Rechtsstaat in einer Krisensituation mit gravierenden Grundrechtseingriffen bewähren muss – sowohl während der akuten Lage als auch nachträglich. Wenn Richter, wie geschehen, im Jahr 2023 entscheiden, dass das generelle Verbot von Versammlungen in der ersten Coronaphase im Frühjahr 2020 unverhältnismäßig war, lässt sich die Demo zwar nicht mehr nachholen – aber das Urteil klärt die Rechtsposition der Betroffenen und kann die Grundlage für eine bessere Entscheidung in einem zukünftigen Fall bilden.

Grenzenlos ist die Freiheit nicht. Das Grundgesetz selbst bezeichnet diese Grenzen als Schranken und benennt sie in Artikel 5 Absatz 2: „Diese Rechte finden ihre Schranken in den Vorschriften der allgemeinen Gesetze, den gesetzlichen Bestimmungen zum Schutze der Jugend und in dem Recht der persönlichen Ehre.“ Rechtlich relevant werden öffentliche Äußerungen dann, wenn sie schwere Straftaten gutheißen – oder zu Hass oder Gewalt aufstacheln oder unter den Tatbestand der Volksverhetzung fallen. Das schließt auch das Verwenden verbotener Symbole und Parolen mit ein. Dabei stand zuletzt der Slogan „From the river to the sea, Palestine will be free“ – Vom Fluss bis zum Meer wird Palästina frei sein – im Fokus. Der gemeinte Fluss ist der Jordan und das Meer das Mittelmeer – dazwischen liegt der Staat Israel. Daher wird die Parole von vielen so verstanden, dass sie Israels Existenzrecht leugnet. Innenministerin Nancy Faeser erließ Anfang November 2023 ein Verbot der Terrororganisation Hamas. In dieser Verbotsverordnung verbot sie die Parole – zunächst fast unbemerkt – als Kennzeichen der Terrororganisation gleich mit.

AUF DEN PUNKT GEBRACHT

Meinungs- und Versammlungsfreiheit sind wesentliche Bestandteile der Demokratie. Das Bundesverfassungsgericht räumt ihnen einen über-
ragenden Stellenwert ein.

Die Grenzen dieser Freiheiten müssen immer wieder ausgelotet werden. Verbote und ihre Aufhebungen, umstrittene Urteile und nachträgliche Feststellung von Rechtswidrigkeit sind kein Zeichen von Freiheitseinschränkung oder Willkür, sondern Belege für einen funktionierenden Rechtsstaat.

Schräge, unbequeme und extreme Meinungen sind geschützt, selbst wenn sie der Mehrheit nicht gefallen. Die Strafbarkeit bildet jedoch die Grenze.

Folge: Was verboten ist, darf nicht gezeigt werden. Entsprechende Plakate darf die Polizei konfiszieren. Im Falle vermehrter Straftaten können sogar Versammlungen aufgelöst werden. Wer Schilder mit „Tötet XXX“ hochhält, wie in Wiesbaden im Rahmen der Bauernproteste, macht sich strafbar (§ 111 StGB, öffentliche Aufforderung zu Straftaten). Galgen, wie vielfach gesehen, bewegen sich im rechtlichen Graubereich. „Kontext ist immer alles. Aber wenn das signalisieren soll: ‚Wir kommen, um euch zu hängen‘, geht es nicht“, sagt Jurist Poscher. Auch Misthaufen auf öffentlichen Straßen können ein Fall für den Staatsanwalt sein. Ausdrücklich

verboten sind Waffen auf Versammlungen, das besagt der Wortlaut des Grundgesetzes. Das Versammlungsgesetz verbietet zudem das Tragen von Uniformen. „Versammlungen dürfen andere nicht so einschüchtern, dass die ihre Meinung nicht mehr frei äußern oder bilden können. Daher gibt es die Uniformverbote“, so Poscher. Das gelte letztlich auch für Traktoren; sie dürften nicht als Mittel zur Einschüchterung genutzt werden.

Wie die Gerichte die Blockaden von Autobahnausfahrten, Landstraßen oder Plätzen durch Tausende Traktoren im Januar nachträglich beurteilen, wird sich zeigen. Entscheidend ist, welche Auflagen Protestierende erfüllen mussten. So berichtet *Legal Tribune Online*, dass Land-

wirte und Landwirtinnen in Sachsen Auffahrten nur zeitweise blockieren durften, während Bauern in Mecklenburg-Vorpommern nur *an* den Auffahrten zu Autobahnen stehen durften und nicht direkt darauf. Unbegrenzte Blockaden ließen hingegen die Richter des Oberverwaltungsgerichts Berlin-Brandenburg zu. Das Argument: Autobahnen können umfahren werden. Die Richter räumten der Meinungskundgebung höhere Bedeutung ein.

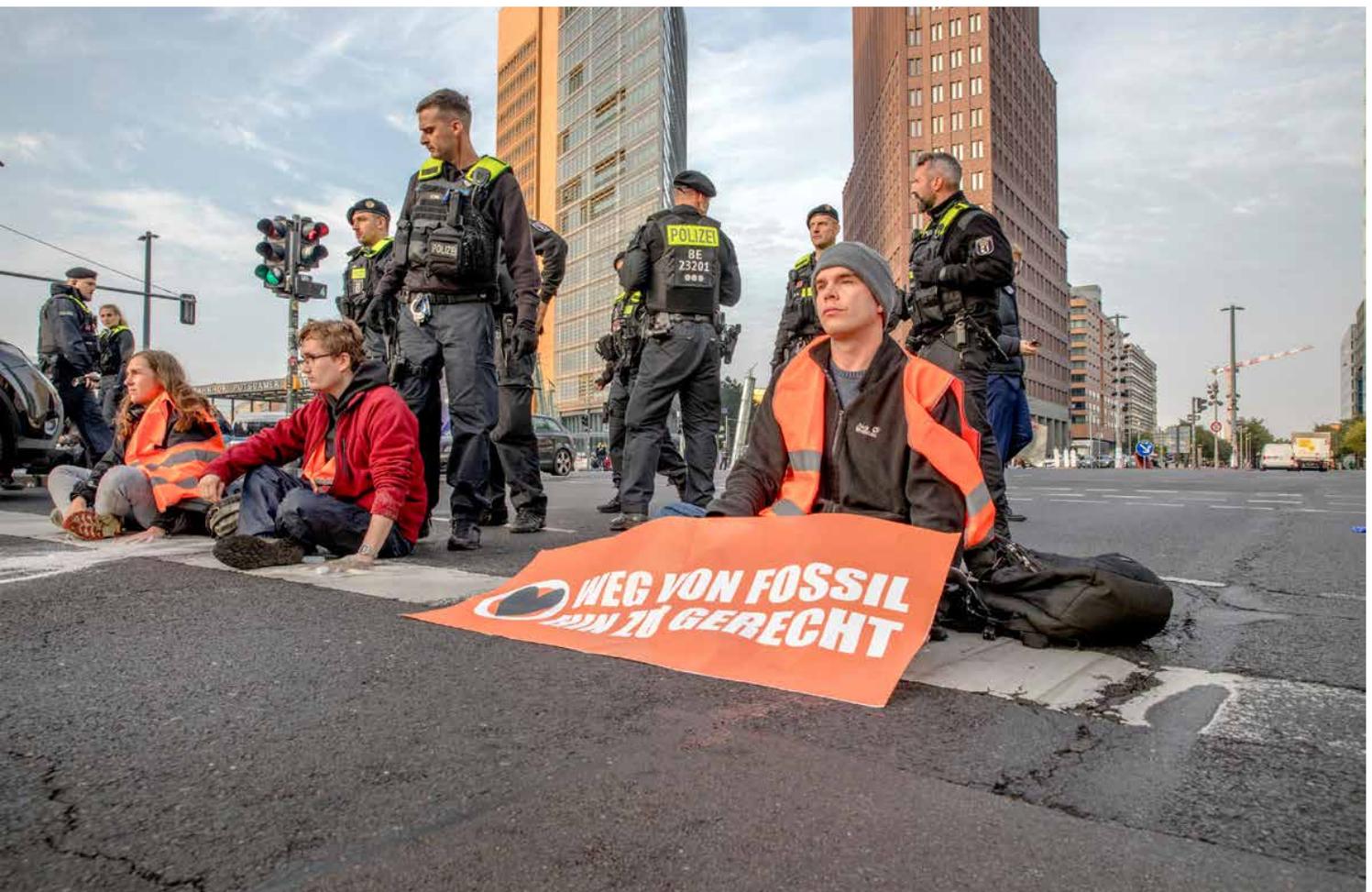
Wie erklärt sich dann die Strafverfolgung und Verurteilung der „Klimakleber“, die vielerorts ebenfalls den Verkehr lahmlegten? Juristen sahen darin vielfach Einzelaktionen, die – unangemeldet – keinen Ansprechpartner für die Polizei boten, um Sicherheitskonzepte im Vorfeld abzusprechen. In Bayern wurden Klimaaktivisten sogar präventiv in Gewahrsam genommen – ein Vorgehen, das Poscher in einem gemeinsamen Blogbeitrag mit der Doktorandin Maja Werner sowohl von der Rechtsgrundlage als auch von deren Anwendung her als rechtlich bedenklich einordnete. „Damit wird auch Politik gemacht“, kommentiert Poscher.

Anders verhält es sich dagegen bei den Bauern, die über ihren Verband konzertierte Protestfahrten im Vorfeld mit den Sicherheitsbehörden abgesprochen und ihr Arbeitsfahrzeug für den Weg zur Kundgebung genutzt haben – und übrigens auch nutzen dürfen. „Wird eine Straße oder ein Platz als Versammlungsort zugelassen, dann gilt die Straßenverkehrsordnung insoweit nicht“, sagt Ralf Poscher. Auch Fußgänger und Radler sind dann auf Autobahnen erlaubt.

Wie eindrucksvoll Demonstrationen sein können, das zeigten nicht nur die Traktoren, die tagelang das Stadtbild prägten, sondern auch die Millionen Menschen, die für Demokratie und Freiheit einstanden – und dies nicht nur im Westen, sondern auch im Osten des Landes. Starke Symbole zum 75. Jubiläum einer Demokratie, die sich ihrer Freiheit stets bewusst sein sollte. „Die Versammlung lebt von Körperlichkeit. Bei allem, was die sozialen Medien heute bieten können – nichts wirkt so, wie wenn Menschen mit ihrem Körper für ihre Meinung einstehen“, erklärt Rechtsexperte Ralf Poscher.

www.mpg.de/podcasts/unfreiheit

Vor Gericht: „Klimakleber“ wurde vielfach als Nötigung bestraft.



Dass eine Wissenschaftlerin den Laborkittel an den Haken hängt und Journalistin wird, ist nicht ungewöhnlich. Martina Preiner hat es genau andersherum gemacht. Nach einer Karriere als Wissenschaftsjournalistin wechselte sie mit Anfang dreißig noch mal die Seiten und kehrte ins Labor zurück. Der Grund für den Sinneswandel war ihre Faszination für die Entstehung des Lebens.

TEXT: CATARINA PIETSCHMANN

38

„Wissen Sie was, kommen Sie doch einfach mal vorbei.“ Diese eher beiläufig geäußerte Einladung markierte einen Wendepunkt in Martina Preiners Leben: 2011 lud der Biologe Bill Martin die freiberufliche Wissenschaftsjournalistin in sein Forschungslabor in Düsseldorf ein und gab damit den Startschuss für ihre zweite Karriere.

Sieben Jahre später leitete Martina Preiner am Max-Planck-Institut für terrestrische Mikrobiologie in Marburg die Nachwuchsgruppe „Geochemische Protoenzyme“. Hinter dem komplizierten Begriff verbirgt sich eine der größten Menschheitsfragen überhaupt: Wie ist das Leben auf der Erde entstanden? Für die Wissenschaft liegt die frühe Erde vor mehr als vier Milliarden Jahren, als das Leben seinen Anfang nahm, noch buchstäblich im Nebel: ein unwirtlicher Planet, der oftmals mit brodelnden Vulkanen dargestellt wird und eine für heutige Verhältnisse lebensfeindliche Atmosphäre aus Wasserdampf, Kohlendioxid und anderen Gasen besaß. „Die Bedingungen waren damals vollkommen anders als heute – so viel steht fest. Aber wie genau die Erde damals aussah, das wissen wir nicht. Und das macht es auch so schwer, zu den Anfängen des Lebens zurückzukehren“, sagt Martina Preiner.

Vermutlich liefen an Gesteinen und in Gesteinsporen die ersten chemischen Reaktionen ab, bevor viele Millionen Jahre später die erste funktionsfähige Zelle das Licht der Welt erblickte: „Luca“ nennt sie die Forschung; sie ist der „last universal common ancestor“ – der letzte gemeinsame Vorfahre von Bakterien und Archaeen und damit auch von Pilzen, Pflanzen und Tieren. An diesem Übergang zwischen Geochemie und Biochemie, als die Vorläufer heutiger Enzyme komplexere Reaktionen ermöglichten, forscht Martina Preiner. Sie untersucht Reaktionsnetzwerke, die auf organischen Cofaktoren und anderen Reaktionsprodukten basieren, und die Frage, ob poröses Gestein als Vorläufer von Zellen fungiert haben könnte.

Preiners Weg dahin war alles andere als schnurgerade. Begonnen hat er 1985 im oberbayerischen Burghausen – die Mutter eine medizinisch-technische Assistentin, der Vater Chemiker. Derart „vorbelastet“ entschied sie sich für ein Chemie- und Biochemiestudium in München. Es wurde schnell klar, dass das, nur mit Chemiegrundkurs in der zwölften Klasse, etwas leichtsinnig war – doch Preiner biss sich durch. Sie spürte jedoch auch, dass sie sich immer für mehr als „nur“ Chemie interessierte. Als sie schließlich den Masterabschluss in der Tasche hatte, war die Luft raus. „Ich habe mich damals nicht so richtig als Naturwissenschaftlerin gefühlt“, erinnert sie sich. Eine Promotion und anschließende Laufbahn in der Wissenschaft oder in der chemischen Industrie kamen damals nicht infrage. Aber was dann?

Während des Studiums hatte Preiner regelmäßig das Münchner Studentenradio M94.5 gehört, für das eine Schulfreundin moderierte. Sie nahm Kontakt mit ihr auf und leitete schon nach kurzer Zeit das Wissenschaftsressort. „Das hatte ich auch dem Betreuer meiner Masterarbeit zu verdanken,

—>

BESUCH BEI

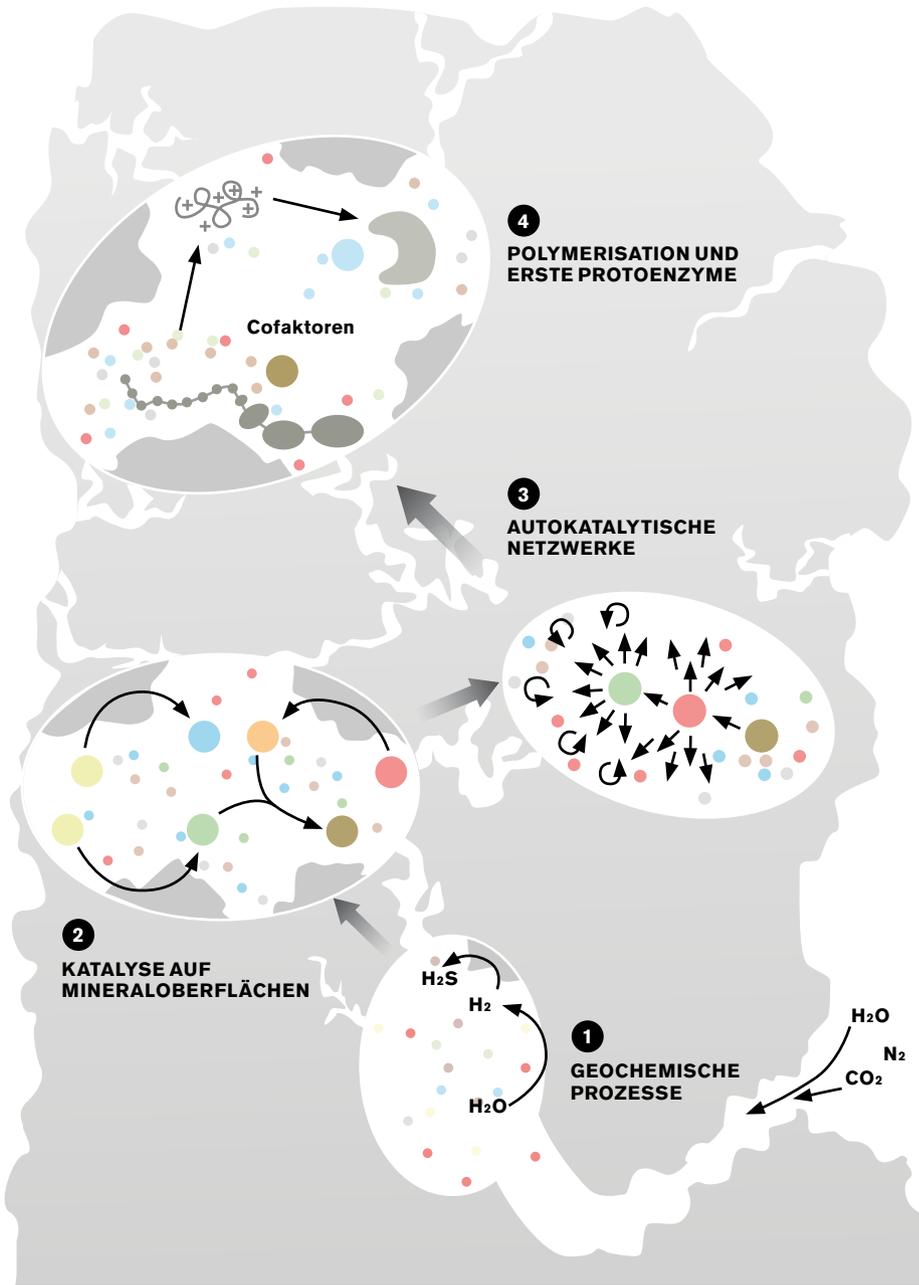
MARTINA
PREINER



FOTO: KATRIN BINNER FÜR MPG

39

Balanceakt nicht nur im Treppenhaus: Martina Preiner bringt in ihrer Forschungsgruppe unterschiedliche Disziplinen zusammen.



In Hohlräumen poröser Gesteine könnten die ersten Lebensprozesse abgelaufen sein. Die Poren haben möglicherweise eine geschützte Umgebung geboten und mit ihren Mineralien die Entstehung von Wasserstoff (1) und komplexeren Molekülen (2) katalysiert. Daraus könnten Reaktionsnetzwerke entstanden sein, die sich ohne Enzyme, dafür mithilfe von Cofaktoren (große Kreise), Mineralien und Salzen selbst erhalten konnten (3). Der nächste Schritt wäre in diesem Szenario die Entstehung von Polymeren und damit ersten Enzym-Vorläufern, die Reaktionen zielgerichteter katalysieren können (4).

dem Physiker Don Lamb. Er gab mir einen Tag in der Woche frei, den ich dann an den Samstagen im Labor nacharbeiten konnte.“ Es war genau der Blick über den Tellerrand, den sie brauchte. Der nächste Schritt ließ dann auch nicht lange auf sich warten. Durch einen Tipp wurde sie auf das Mentoring-Programm der Initiative Wissenschaftsjournalismus der Robert Bosch Stiftung aufmerksam.

Nach einem journalistischen Crashkurs in Köln durchlief sie Praktika beim Deutschlandfunk und beim WDR, sie sammelte Erfahrungen im Hörfunk und beispielsweise bei „Quarks“. Das war im Frühjahr 2011. „Kurz nach der Reaktorkatastrophe von

Fukushima also, und Wissenschaftsjournalismus stand plötzlich im Mittelpunkt der Berichterstattung.“ Martina Preiner half den Redakteurinnen und Redakteuren rund um den damaligen „Quarks“-Moderator Ranga Yogeshwar, Fakten zu sammeln und mit Falschinformationen aufzuräumen. Schon bald lieferte sie eigene Beiträge für die Sendung.

Das Leben als freie Journalistin war großartig und wurde nie langweilig. Sie produzierte Radiobeiträge für den Deutschlandfunk und den WDR über Angststörungen, radioaktive Strahlung, Klebstoffe und über die Stimme. Für Deutschlandfunk Nova

sammelte sie mit einem Pilzexperten Röhrlinge und Lamellenpilze auf einem Kölner Friedhof, spürte Wissenschaftsskandalen nach und interviewte einen der ersten kommerziellen Astronauten. Von der Neurobiologie über den VW-Skandal bis zur Klimaforschung war alles dabei.

Aufträge hatte sie genug, trotzdem war es finanziell oft recht eng. „Damals war ich rastlos. Wenn ich Geld übrig hatte, bin ich schon mal für einen Monat nach Indien oder drei Monate nach Südamerika gereist.“ Festanstellungen gab es allerdings nicht gerade wie Sand am Meer. Und als es dann doch mal mit einer Stelle als Rechnerin bei einer Münchener Produktionsfirma klappte, stellte sich schnell heraus: „Das passte überhaupt nicht!“

Jahren aus der Uni raus. Gab es überhaupt noch ein Zurück? Und dann fiel der bereits eingangs zitierte, alles entscheidende Satz: „Kommen Sie doch einfach mal vorbei.“

Der Gedanke, vielleicht doch noch zu promovieren, hatte sich schon ein paar Mal eingeschlichen. „Aber für ein anderes Thema als den Ursprung des Lebens wäre ich wohl nicht an die Uni zurückgegangen.“ 2016 zog Preiner nach Düsseldorf und baute in Martins rein auf mikrobiologische Forschung ausgerichtetem Labor einen Chemiezug auf – und begann zu untersuchen, ob es Parallelen gibt zwischen biologischer und geochemischer Bindung von Kohlenstoff. „Ich habe Kohlendioxid und Wasserstoff auf Mineralien wie Magnetit oder der Ei-

„Für ein anderes Thema als den Ursprung des Lebens wäre ich wohl nicht an die Uni zurückgegangen.“

41

Also kehrte sie zurück in die Selbstständigkeit. Ein Artikel für das Wissenschaftsmagazin „Spektrum der Wissenschaft“ sollte alles ändern. Er handelte von den Hypothesen dazu, wie das Leben auf der Erde entstanden sein könnte. Der „RNA-zuerst-Theorie“ zufolge köchelte in Tümpeln an der Erdoberfläche eine Art „Ursuppe“, in der kleine Nukleinsäure-Bausteine entstanden, die sich dann zu größeren Molekülen zusammenlagerten. Die „Stoffwechsel-zuerst-Theorie“ hingegen postuliert unter anderem, dass sich erste metabolische Vorgänge an Hydrothermalquellen in der Tiefsee entwickelt haben.

Martina Preiner war hingerissen von dem Thema, an dessen Erforschung von der Geologie und Geochemie über die Biologie, Biochemie bis hin zur Chemie und Physik ganz unterschiedliche Disziplinen beteiligt sind. Im Zuge ihrer Recherche führte sie auch ein Interview mit dem Biologen Bill Martin von der Universität Düsseldorf, einem Vertreter der „Stoffwechsel-zuerst-Theorie“. Am Ende des Gesprächs erwähnte der Wissenschaftler, dass er künftig auch die chemischen Abläufe erforschen wolle, die hinter dem Ursprung des Lebens steckten. „Halb zum Spaß sagte ich: Das könnte ich doch machen.“ Allerdings war Martina Preiner seit sechs

sen-Nickel-Legierung Awaruit, die an Hydrothermalquellen zu finden sind, reagieren lassen und analysiert, ob diese die Umwandlung von Kohlendioxid ermöglichen können.“ Ja, tatsächlich! In den wässrigen Lösungen fand sie vier kleine organische Moleküle: Methanol, Ameisen-, Essig- und Brenztraubensäure. Also genau die Substanzen, die noch heute am Anfang des Stoffwechsels vieler Kohlendioxid fixierender Mikroorganismen stehen! Das war der Beweis, dass diese ersten Reaktionsschritte auch an Mineralien vollzogen werden können.

Ganz vom Journalismus lassen konnte Preiner jedoch nicht. Parallel zur Arbeit im Labor moderierte sie einen Podcast. Gemeinsam mit der befreundeten Astrophysikerin Franziska Konitzer hatte sie sich bereits zuvor bei Amazons Hörbuch-Ableger Audible für einen Wissenschafts-Podcast beworben. „Für ‚Und oder zum Quadrat‘ haben wir unter anderem über Gold, Stickstoff, Kernkraft, die Liebe oder das Sterben gesprochen. Das war großartig!“

Auch im Labor fand Preiner bald eine Gleichgesinnte – die Postdoktorandin und Biotechnologin Joana Xavier, ein Freigeist wie sie. Genervt von den

→

Vertretern der verschiedenen Theorien zum Ursprung des Lebens und deren Lagerdenken organisierten Preiner und Xavier 2018 eine interdisziplinäre Konferenz nur für Doktoranden und Postdocs, die sich mit dem Ursprung des Lebens beschäftigten. Dank ihrer Bitte, so weit wie möglich auf Fachsprache zu verzichten, gelang es den Teilnehmenden, sich über Disziplingrenzen hinweg zu verständigen. „Es herrschte eine total entspannte Atmosphäre, alle diskutierten sehr offen über das Für und Wider der verschiedenen Theorien, wie das Leben entstanden sein könnte. Sie haben sich mehr getraut, weil es nicht die sonst auf Konferenzen übliche Polarisierung gab.“ In einer gemeinsamen Publikation stellten die Forschenden anschließend dar, wie sie die Zukunft ihres Forschungsgebietes sehen.

Zwei Jahre später folgte die nächste Konferenz, nun organisiert von Leuten, die an der ersten teilgenommen hatten. Schließlich formierte sich das Origin of Life Early-career Network (OoLEN) mit heute weltweit über 200 Mitgliedern. „Hypothesen sind natürlich unverzichtbar. Aber wenn man sich zu sehr auf eine bestimmte fokussiert, verliert man seine Offenheit und Objektivität. Ich denke, das Netzwerk hat unser Forschungsgebiet auch deshalb vorangebracht, weil es die Kooperation unter den Forschenden erleichtert.“

mehrmals erlebt: anfängliche Überforderung, weil sie neben den Spezialistinnen und Spezialisten die einzige Generalistin war und weniger über die Grundlagen wusste als alle anderen; dann eine steile Lernkurve und am Ende das gute Gefühl, sich wieder jede Menge neues Wissen angeeignet zu haben, dieses Mal über Geochemie.

Gerade mal ein halbes Jahr war sie mit ihrer jungen Familie in Utrecht, als ein Kollege ihr eine Ausschreibung des Max-Planck-Instituts für terrestrische Mikrobiologie weiterleitete: Für das neue „Zukunftszentrum Mikrokosmos Erde“ wurde die Leitung einer Nachwuchsgruppe gesucht. Als Chemikerin, die sich mit Stoffwechselfvorgängen beschäftigt, in die Mikrobiologie – das wäre zu schön, um wahr zu sein! Auf Anraten von Bekannten bewarb sie sich trotz ihrer Bedenken. Als sie die Einladung zum Auswahlverfahren erhielt, konnte sie es zuerst gar nicht glauben. Aber sie bekam die Stelle. Und wie sich bald herausstellen sollte, passt sie mit ihrem Fokus auf die Anfänge des Stoffwechsels sehr gut in das Team. In ihrem Büro sitzt sie der Biologin Julia Kurth gegenüber, die zu Archaeen forscht – urtümlichen Einzellern, die Kohlendioxid binden und in Methan umwandeln. Eine Tür weiter arbeitet die Dritte im Bunde, Judith Klatt. Die Biogeochemikerin ist eine Spezialistin für Ökosysteme in

„Wenn man sich zu sehr auf eine Theorie fokussiert, verliert man seine Offenheit und Objektivität.“

Nach der Promotion 2020 war nicht nur plötzlich Corona da. Martina Preiner war auch mit ihrer Tochter schwanger. Sie blieb zunächst als Postdoktorandin in Düsseldorf, bevor sie eine Stelle in Utrecht und auf der niederländischen Insel Texel antrat und damit „endlich eine Gelegenheit bekam, aus dem Labor rauszukommen“. An Bord des Forschungsschiffs Pelagia fuhr sie als wissenschaftliche Coleiterin mit Geowissenschaftlerinnen, Ökologen und Biologinnen zum Mittelatlantischen Rücken und nahm an Hydrothermalquellen am Meeresgrund Proben von Nanopartikeln. Was sie während ihrer Postdoc-Zeit erfuhr, hatte sie bereits

urzeitlichen Ozeanen. Und nicht weit weg untersuchen Forschende, wie wohl die ersten Proteine ausgesehen haben. „Wir denken inzwischen darüber nach, ob wir diese rekonstruieren und auf eine geochemische Umgebung loslassen könnten“, erzählt Martina Preiner. „Wären wir hier nicht alle zusammengekommen, dann würden solche Ideen wohl kaum entstehen.“

Ihr Werdegang ist wie der vieler Millennials voller unvorhergesehener Wendungen. Schule, Studium, Promotion, dann Festanstellung bis zur Rente – das war einmal. Nichts ist mehr vorgezeichnet für die

Heiße Quellen in der Tiefsee, sogenannte Weiße Raucher, sind ein möglicher Geburtsort des Lebens. Martina Preiner erforscht inzwischen auch andere chemische Umgebungen, in denen die ersten Lebensprozesse abgelaufen sein könnten. Kohlendioxid spielt dabei immer eine zentrale Rolle – allerdings nicht in Form von Trockeneis wie auf diesem Bild.



FOTO: KATRIN BINNER FÜR MPG

Ewigkeit. „Deshalb rate ich manchmal auch Studierenden, ein Jahr aus der Forschung auszusteigen, um sich zu orientieren. Denn nicht jeder wird in der Wissenschaft glücklich.“ Dass sie immer wieder ins kalte Wasser gesprungen und auch gegen den Strom geschwommen ist, ist vielleicht kein Zufall. In Jugendjahren war sie Leistungsschwimmerin und fing bereits mit 14 Jahren an zu tauchen: Vom kühlen Attersee in Österreich bis zu tropischen Korallenriffen ist sie manchem Gewässer auf den Grund gegangen. Dieses Jahr wird sie

nach längerer Zeit wieder Flossen und Schnorchel aus dem Schrank holen und ihren Vater bei seinen Tauchgängen in Indonesien begleiten.

Bei Max-Planck in Marburg ist Martina Preiner vorerst angekommen. Rückblickend bleibt die Erkenntnis, Gelegenheiten zur Weiterentwicklung am Schopf gepackt zu haben, statt auf der Stelle zu treten. „Das ist wohl mein Lebensmotto“, sagt sie lachend. Etwas, das sie wahrscheinlich mit dem Ursprung des Lebens gemeinsam hat.





BILD: ILLUSTRATION DES SRG MIT EROSITA UND ART-XC / DLR

ZWEITER BLICK

MAX-PLANCK-INSTITUT
FÜR EXTRATERRESTRISCHE PHYSIK

Intergalaktisch: Das Weltraumteleskop eRosita (Darstellung links) hat das Röntgenlicht einer Rekordzahl von 900 000 Objekten aus allen Himmelsrichtungen eingefangen, indem es das All in Pirouetten abrasterte. Denn selbst wenn man alle sieben Einzelteleskope kombiniert, ist das Gesichtsfeld immer noch sehr klein, vergleichbar etwa der Fläche, die ein Fingernagel bei ausgestrecktem Arm am Himmel abdeckt. Im deutschen Datenanteil (rechts) ist hochenergetisches Röntgenlicht blau gefärbt, das Licht bei niedriger Energie rot. Staub und Gas in der Milchstraße lassen nur Licht bei höheren Energien passieren. Der hellste Fleck in der Bildmitte entspricht dem Supernova-Überrest Vela in der Milchstraße, während die Lichtpunkte jenseits der Milchstraße größtenteils auf aktive Galaxienkerne zurückzuführen sind. Deren Verteilung und Dynamik im intergalaktischen Raum lassen erahnen, wie sich das Universum entwickelt hat.

45

BILD: MPE, J. SANDERS FÜR DAS EROSITA KONSORTIUM

EIN GEN FÜR DIE MÄNNLICHKEIT

TEXT: ANDREAS LORENZ-MEYER

46

Braunalgen sind Außenseiter – weder Pflanze noch Tier, weder Pilz noch Bakterium. Diese Sonderstellung im Stammbaum des Lebens macht sie für Susana Coelho und ihr Team am Max-Planck-Institut für Biologie Tübingen so interessant. Die Forschenden wollen herausfinden, ob die Evolution eine wichtige Erfindung mehrmals auf die gleiche Weise gemacht hat: die Entstehung weiblicher und männlicher Individuen.

In den Nachrichten tauchen Braunalgen eher selten auf – und wenn, dann machen sie zuletzt negative Schlagzeilen. Grund dafür ist der „Große Atlantische Sargassum-Gürtel“, ein immer größer werdender Teppich der *Sargassum*-Braunalge, der sich seit 2011 jeden Frühling im Atlantik bildet. Inzwischen schwappt er bis an die Küsten Floridas und Mexikos und gefährdet dort Tourismus und Fischerei.

Bis nach Tübingen hat es *Sargassum* zwar noch nicht geschafft, dafür schwimmt eine nahe Verwandte in den Brutschränken des dortigen Max-Planck-Instituts für Biologie: die Braunalge *Ectocarpus*, die in mit Meerwasser gefüllten Glaskolben kleine, bräunliche Klumpen bildet. Bei den unförmigen Gebilden handelt sich um die Gametophyten – also die geschlechtliche Generation, die Eizellen und Spermien produziert. Wie bei Moosen, Farnen und Samenpflanzen wechseln sich auch bei Braunalgen geschlechtliche und ungeschlechtliche Fortpflanzung ab: Auf eine zumeist unscheinbare geschlechtliche Generation folgt eine Generation, die sich asexuell über Sporen vermehrt. Im Fall von *Sargassum* ist es diese ungeschlechtliche Generation, die gut sichtbar im Meer wächst und mitunter riesige Flächen bedeckt.

Braunalgen haben sich vor einer Milliarde Jahren von Grün- und Rotalgen abgespalten. Die Grünalgen entwickel-

ten sich später zu Landpflanzen, während die Braunalgen ihren eigenen Weg gingen. Ihre namensgebende Färbung erhalten die Algen durch das braune Pigment Fucoxanthin, das in den Chloroplasten zusätzlich zu Chlorophyll produziert wird und den grünen Farbstoff überdeckt. Die Formenvielfalt der ungeschlechtlichen Generation reicht je nach Art von kleinen, verzweigten Zellfäden bis hin zu Organismen von mehreren Metern Größe. Letztere bilden entlang von Küsten ausgedehnte Seetangwälder.

Susana Coelho erforscht Braunalgen schon seit vielen Jahren – zunächst an der Station Biologique de Roscoff in der Bretagne, wo die Organismen die Atlantikküste bevölkern, und seit 2021 am Max-Planck-Institut. In den Tübinger Labors versorgen Brutschränke *Ectocarpus* mit konstanten Temperaturen und exakt reguliertem Kunstlicht. „Braunalgen sind ungeheuer anpassungsfähig und erfin-



WISSEN AUS

— BIOLOGIE & MEDIZIN



Die Braunalge *Halopteris congesta* kommt in den tropischen Ozeanen vor. Unter dem Mikroskop sind die fächerförmig angeordneten Zellfäden der Alge gut zu erkennen.



dungsreich: Sie betreiben Fotosynthese und besitzen blätter-, stängel- und krallenartige Gebilde, die Wurzeln ähneln. Sie sehen aus wie Pflanzen, sie sind aber keine. Und zu den Tieren und Pilzen gehören sie auch nicht.“

Sonderlinge der Natur

Braunalgen sind demnach evolutionäre Einzelgänger. Sie haben ihre eigenen Wege zur Vielzelligkeit gefunden. Ihre Fähigkeit, die Sonnenenergie zu nutzen, entwickelte sich zwar ebenfalls ähnlich wie bei den Pflanzen, je-

doch unabhängig von diesen: Einst hatte eine einzellige Braunalge eine einzellige, Fotosynthese betreibende Rotalge in sich aufgenommen, die ihrem Symbiosepartner fortan die Energie aus dem Sonnenlicht zur Verfügung stellte. Aus diesen einstmals eigenständigen Rotalgen sind nach und nach die Chloroplasten der Braunalgen geworden. Die Chloroplasten der Pflanzen dagegen sind aus ursprünglich frei lebenden Cyanobakterien entstanden.

Ihre eigenständige Evolution ist es, was Braunalgen für Susana Coelho zu so vielversprechenden Forschungsobjekten macht. „Sie helfen uns zu verstehen, wie die Evolution arbeitet.

Susana Coelho in ihrem Labor in Tübingen. Hier will sie herausfinden, ob die Evolution mehrfach denselben Weg eingeschlagen hat, um männliche und weibliche Individuen hervorzubringen.

Wenn wir zum Beispiel bei Braunalgen die Gene, welche für die Entstehung weiblicher und männlicher Individuen entscheidend waren, mit denen von Organismen anderer Abstammungslinien vergleichen, können wir herausfinden, ob die Algen den gleichen genetischen Werkzeugkasten benutzt haben.“



Susana Coelho und ihr Team am Max-Planck-Institut in Tübingen interessieren sich vor allem für den sexuellen Teil des Lebenszyklus von *Ectocarpus*. Sie wollen das Gen finden, das bestimmt, ob eine Braunalge männlich oder weiblich wird. Ein Vergleich mit dem geschlechtsbestimmenden Gen anderer Organismengruppen soll hier Klarheit schaffen: Haben die Braunalgen ihre Art der Geschlechtsentwicklung von dem letzten gemeinsamen Vorfahren geerbt, den sie sich mit den anderen Gruppen teilen, oder haben sie dafür eine andere Form gefunden? „So werden wir hoffentlich eines Tages wissen, ob die Evolution das Geschlecht über sämtliche Abstammungslinien hinweg mit demselben Master-Gen festlegt.“

Einen Kandidaten für das Männlichkeitsgen haben die Forschenden bereits entdeckt. Dieser ähnelt dem sogenannten SRY-Gen, das bei Säugtieren das männliche Geschlecht bestimmt. SRY steht für *sex-determining region of Y-Gen*. Es scheint, dass die gleiche Art von Master-Genen – oder ähnliche molekulare Mechanismen – das Geschlecht eines Individuums bei den Braunalgen genau wie bei anderen Abstammungslinien bestimmen. Der endgültige Beweis dafür, dass das Gen tatsächlich das gesuchte Master-Gen ist, steht allerdings noch aus.

Männliche Algen mit Eizellen

Was das Geschlecht angeht, sind Braunalgen flexibel. So scheinen manche männlichen Individuen in der Lage zu sein, neben Spermien auch Eizellen zu produzieren, was möglicherweise ein Entwicklungsschritt hin zur Selbstbefruchtung ist. Auf diese Weise könnten sie sich fortpflanzen, selbst wenn sich in den Weiten des Ozeans weit und breit kein Partner blicken lässt. Aber wie werden aus Männchen solche zwittrigen Wesen? Dies will Daniel Liesner her-

ausfinden. Dafür untersucht er nicht *Ectocarpus*, sondern eine Braunalge namens *Laminaria pallida*. Exemplare dieser Art, die vermutlich zweigeschlechtlich sind, hat Liesner aus dem südlichen Afrika mitgebracht. Er hält eine Petrischale mit gefilter-

AUF DEN PUNKT GEBRACHT

Braunalgen bilden eine eigene Abstammungslinie. Sie gehören weder zu den Pflanzen noch zu den Tieren.

Sie besitzen auf ihrem Geschlechtschromosom ein Gen, das festlegt, ob ein Individuum Spermien oder Eizellen produziert. Ein Vergleich dieses Gens mit seinem Gegenstück bei anderen Organismengruppen soll zeigen, ob die Evolution bei der Geschlechtsfestlegung zweimal denselben Weg eingeschlagen hat.

Braunalgen besitzen eine überragende Bedeutung für die Artenvielfalt und das Weltklima. Eine Ursache für ihre massenhafte Vermehrung in manchen Regionen ist die Überdüngung der Meere.

tem Seewasser hoch. Zu sehen ist erst einmal nichts, obwohl in der Schale ein paar Hundert männliche *Laminaria* schwimmen. „Die Individuen der geschlechtlichen Generation sind winzige Fäden aus Zellen mit zehn bis vierzig Mikrometern Größe. Erst später entwickeln sich daraus die sogenannten Sporophyten, also die ungeschlechtliche Generation. Das sind die großen braunen Algen, die wir vom Strand kennen“, erklärt Liesner. Der Biologe legt die Petrischale unters Lichtmikroskop und stellt einen der unregelmäßig ge-

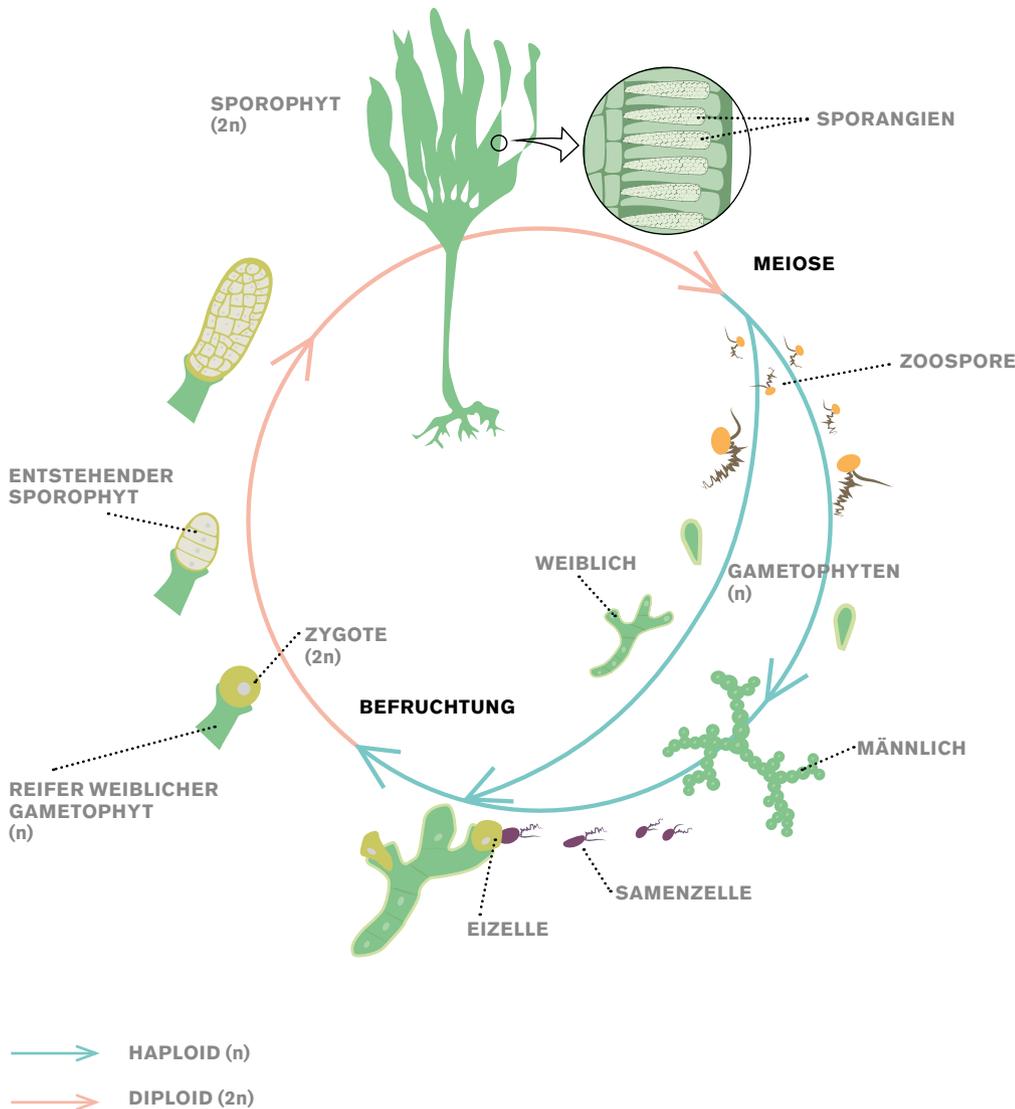


Der Sporophyt – also die ungeschlechtliche Generation – einer *Ectocarpus*-Alge entlässt Sporen aus einem Sporenbhälter. Diese können sich dank zweier peitschenartiger Anhängsel fortbewegen.

formten bräunlichen Zellhaufen scharf. An seinen Rändern sitzen hier und da kleine weißliche Kugeln: die Behälter, in denen die Spermien produziert werden.

So weit, so normal für eine männliche Braunalge. Die Exemplare in Liesners Schale weisen jedoch eine Besonderheit auf: eine Zelle, die viel größer und dunkler ist als die anderen. „Wenn das eine funktionale Eizelle ist, sind die männlichen Individuen in Wahrheit Zwitter“, sagt Liesner. Unter dem Mikroskop sieht die Zelle zwar wie eine Eizelle aus, aber es ist sehr unwahrscheinlich, dass sie auch genetisch weiblich ist. Die Tests, welche das männliche und das weibliche Geschlechtschromosom nachweisen können, laufen noch. Unklar ist zudem, ob die Eizelle – wenn es denn eine ist – funktionstüchtig ist, ob sich das Individuum also selbst befruchten könnte.

Braunalgen beherrschen aber noch weitere Formen der Fortpflanzung ohne das andere Geschlecht. Und auch die erforscht man in Tübingen. In den Ozeanen wurden Populationen entdeckt, die ausschließlich aus Weibchen bestehen. Diese vermehren sich klonal, ungeschlechtliche Sporophyten entstehen bei ihnen aus sich teilenden unbefruchteten Eizellen, also ohne die Fusion von Eizellen und Spermien. Damit umgehen sie ein



Fortpflanzungszyklus der Braunalge *Laminaria* mit Wechsel zwischen geschlechtlicher und ungeschlechtlicher Vermehrung.

Der auffällige Algenkörper von *Laminaria* ist der Sporophyt, also die ungeschlechtliche Generation (oben). Die in speziellen Behältern produzierten Sporen durchlaufen eine besondere Form der Zellteilung (Meiose), bei der das Erbgut so aufgeteilt wird, dass jede Spore nur einen einzigen Satz an Chromosomen besitzt (n). Aus den Sporen wachsen winzig kleine männliche und weibliche Gametophyten heran, welche die Geschlechtszellen bilden. Die aus der Verschmelzung von Samen- und Eizellen hervorgehende Zygote besitzt nun wieder den doppelten Chromosomensatz (2n) und entwickelt sich zum Sporophyten weiter.

GRAFIK: GCO NACH CAMPBELL, BIOLOGIE, 10. AUFL. PEARSON

Problem, mit welchem die sich geschlechtlich vermehrenden Populationen in den Weiten der Ozeane zu kämpfen haben: Wie finden Spermien und Eizellen zueinander? Ein Hilfsmittel sind Lockstoffe, die die Eizellen ins Wasser abgeben und die Spermien anlocken. Auch diese Pheromone wollen die Forschenden identifizieren. Sie untersuchen dazu die Luft aus den Glaskolben, in denen die Algen in den Brutschränken des Tübinger Labors wachsen. Die Duftstoffmoleküle, die aus dem Algenwasser in die Luftschicht darüber diffundiert sind, werden herausgefiltert, danach wird ihre chemische Zusam-

mensetzung mittels Massenspektrometrie analysiert. Die Pheromone lassen sich sogar wahrnehmen: „Sie riechen nach Gin“, sagt Susana Coelho.

Keine Frage, Braunalgen sind faszinierende Organismen. Und wenn sie sich nicht gerade massenhaft vermehren, besitzen sie überragende Bedeutung für die Artenvielfalt und das Klima auf der Erde. Tangwälder sind Lebensraum unzähliger Arten und binden große Mengen Kohlendioxid. Sie werden deshalb auch als Regenwälder der Ozeane bezeichnet. Wie sehr dieses Ökosystem schon aus dem Gleichgewicht geraten ist, das

zeigen die Braunalgenteppe, die jedes Jahr an die Küsten schwappen. Die Ursache: Große Mengen des in der Landwirtschaft eingesetzten Düngers landen schlussendlich im Meer und erhöhen dort die Konzentration der Nährstoffe. „Dadurch kann sich die *Sargassum*-Alge viel stärker vermehren als früher“, erklärt Susana Coelho. Auch infolge des Klimawandels veränderte Meeresströmungen könnten *Sargassum* den Weg in neue Weltregionen gebahnt haben. „Letztlich gibt es dagegen nur ein Gegenmittel: Wir müssen den Nährstoffeintrag in die Ozeane drastisch reduzieren.“



Wis_en

fundiert

Die auflagenstärkste hochschul- und wissenschafts-
politische Zeitschrift Deutschlands.
Monatlich als Print-Ausgabe und E-Paper zu lesen auf:
www.forschung-und-lehre.de/heftarchiv
Täglich aktuelle Nachrichten auf: www.forschung-und-lehre.de

**Forschung
& Lehre**

ALLES WAS DIE WISSENSCHAFT BEWEGT



FOTO: MPI FÜR METEOROLOGIE / NASA WORLDVIEW

Vielgestaltig: In den Tropen und Subtropen bilden sich in einem Gürtel, in dem der Passatwind vorherrscht, zahllose Wolken. Diese Passatwolken kühlen das Klima, da sie Sonnenlicht reflektieren. Sie können verschiedene Formen annehmen – die hier abgebildete wird als Blume bezeichnet.

EIN SCHIRM AUS BLUMENWOLKEN

TEXT: ROLAND WENGENMAYR

Tropische Passatwolken wirken wie ein Kühlelement im Klimasystem: In der Äquatorzone dienen sie als Schutzschirm gegen die wärmende Sonnenstrahlung. Doch reduziert der menschengemachte Klimawandel möglicherweise ihre Dichte, sodass sich die Erderwärmung verstärkt? Die Eurec⁴a-Feldstudie, die Bjorn Stevens, Direktor am Max-Planck-Institut für Meteorologie in Hamburg, mitinitiiert hat, ist dieser und anderen Fragen zum tropischen Wolken-geschehen nachgegangen – mit überraschenden Ergebnissen.

Anfang 2020 versammelte die Klimaforschung vor Barbados eine See- und Luftflotte, wie sie vorher nur selten an den Start gegangen war: Vier Forschungsschiffe, darunter die beiden deutschen Schiffe Meteor und Maria S. Merian, und fünf Forschungsflugzeuge, darunter der Jet Halo des Deutschen Zentrums für Luft- und Raumfahrt (DLR), eine französische ATR-42 und eine US-amerikanische Lockheed WP-3D Orion Hurricane Hunter, gingen in den Tropen auf Wolkenjagd. Auf Barbados nahm das große Wolkenradar Poldirad des DLR seinen Betrieb auf. Mehr als 300 Forschende aus 20 Nationen beteilig-

ten sich an dieser Großoperation. Das Untersuchungsobjekt: die kleinen, niedrigen Passatwolken.

Eurec⁴a hieß die vierwöchige Kampagne, das steht für „Elucidating the role of clouds-circulation coupling in climate“, also „Klärung der Rolle der Wolken-Zirkulations-Kopplung für das Klima“. Natürlich spielt der Name auch auf Archimedes an; der soll beim Baden das Gesetz des Auftriebs entdeckt und gerufen haben: „Heureka!“ – „Ich hab's gefunden!“ Darauf weist Bjorn Stevens hin, denn: „Bei Wolken geht es wirklich um Auftrieb!“ Der Direktor am Max-Planck-Institut für Meteorologie in Hamburg hat die Eurec⁴a-Kampagne gemeinsam mit seiner französischen Kollegin Sandrine Bony, Direktorin am Centre National de la Recherche Scientifique in Paris, konzipiert und geleitet. Unterstützt wurden sie vor Ort durch David Farrell, Leiter des Caribbean Institute for Meteorology and Hydrology. Stevens hat auch gemeinsam mit Farrell das Barbados Cloud Observatory am östlichsten Punkt der Insel aufgebaut, das 2010 in Betrieb ging. Aber warum treibt die Klimaforschung einen sol-

chen Aufwand um kleine Wölkchen in den Tropen? Passatwolken sind niedrige Wolken, sie bilden sich schon in etwa 700 Metern Höhe und dehnen sich – meist – nur bis in zwei Kilometer Höhe aus. Dennoch stellen sie ein Schwergewicht im Klimasystem dar, weil sie so viele sind. Sie sind gesellig wie eine Schafherde und bedecken mehr als 30 Prozent der Gesamtfläche der Passatwindzone, die wie ein Gürtel ein Fünftel der Erde in den Tropen und Subtropen umspannt. Damit bilden die Wolken zusammen einen großen Spiegel, der einen beträchtlichen Teil der Sonnenstrahlung ins All reflektiert und somit die Erde kühlt. Da die Passatwolken eine viel größere Fläche bedecken als das Polareis und zudem fast senkrechter Sonneneinstrahlung ausgesetzt sind, ist ihre Spiegelwirkung für die Wärmestrahlung viel gewichtiger als die der großen Eisflächen in der Arktis und der Antarktis.

Würde nun die Dichte der Passatwolken mit dem Klimawandel abnehmen, dann hätte das erhebliche Auswirkungen auf das Erdklima. Diese Besorgnis lösten die Ergebnisse einiger Kli-

53



Alle anpacken! Mitglieder des Eurec⁴-Teams helfen beim Aufbau des Regenradars Poldirad. Damit untersuchen die Forschenden die Niederschlagsbildung in den Passatwolken.



FOTO: MPL-A, F. BÄTTER

54

mastudien aus, insbesondere eine wissenschaftliche Arbeit, die 2014 in der britischen Fachzeitschrift *Nature* erschien. Zugespielt gesagt, war das Ergebnis dieser Klimasimulationen, dass die Erderwärmung die Passatwolken teilweise wegtrocknen könnte. Die Folge wäre also eine Verstärkung der Erwärmung, was wiederum die Passatwolken-Bedeckung reduzieren würde. „Positive Rückkopplung“ ist der Fachbegriff für einen solchen Teufelskreis.

Nun ist es so, dass die großen, erdumspannenden Klimamodelle zwar sehr zuverlässig geworden sind, wenn es um die Simulation globaler Trends geht: Dass die Menschheit durch ihre Emissionen von Treibhausgasen die Erde erwärmt, steht wissenschaftlich außer Zweifel. Aber mit der Simulation der Wolkenbildung und folglich mit der Frage, wie Wolken auf die Erderwärmung antworten werden, tun sich heutige Klimamodelle recht schwer. Sie konnten die kleinteiligeren Prozesse, die dabei eine Rolle spielen, nicht erfassen. Und es gibt immer noch Wissenslücken, wenn es um ein genaueres Verständnis geht, wie Wolken entstehen und wie sie sich verhalten. Deshalb sollte Eurec⁴ die Passatwolken vor Ort durchleuchten. Die vierwöchige Kampagne sollte Daten über ihr Entstehen und Ver-

gehen sammeln, über ihre Reaktion auf wärmere, kältere, trockenere und feuchtere Wetteränderungen. Dazu liefen diverse Forschungsaktivitäten parallel, eng aufeinander abgestimmt. Den Kern dieser Wolkenforschung bildete ein zylinderförmiges Volumen von rund 10 Kilometern Höhe und circa 220 Kilometern Durchmesser.

AUF DEN PUNKT GEBRACHT

Die Eurec⁴-Kampagne hat mit vier Forschungsschiffen, fünf Flugzeugen und weiteren Instrumenten die tropischen Passatwolken untersucht.

Die Dichte der Passatwolken wird durch den Klimawandel absehbar nicht abnehmen, da die flache mesoskalige Umwälzzirkulation Feuchtigkeitsverluste ausgleicht, die die Erderwärmung verursacht: Die kühlende Wirkung der Passatwolken bleibt vorerst erhalten.

Ein besseres Verständnis davon, wie sich in Passatwolken Niederschlag bildet und warum die Passatwolken verschiedene Formen annehmen, hilft Klimamodelle und ihre Prognosen zu präzisieren.

In diesem Volumen versuchte das Team vor allem die Luftbewegungen möglichst lückenlos zu erfassen, zusammen mit der transportierten Feuchtigkeit. Grundsätzlich entstehen Kumuluswolken, umgangssprachlich: Quellwolken, aus Luft, die wärmer ist als ihre Umgebung und mehr verdunstendes Wasser aufnehmen kann. Da Wassermoleküle leichter als Sauerstoffmoleküle sind, sorgt ein höherer Feuchtegehalt sogar für mehr Auftrieb als eine höhere Temperatur. Die Luft steigt auf, Konvektion entsteht.

In etwa 700 Metern Höhe kondensiert dann der mittransportierte Wasserdampf zu Wolkenröpfchen, erklärt Raphaela Vogel. Sie hat an Eurec⁴ teilgenommen und ist heute wissenschaftliche Mitarbeiterin der Universität Hamburg. „Deshalb haben diese Kumuluswolken unten an der Basis so eine messerscharfe Kante“, erklärt sie. Das kann man auch in Europa bei schönem Sommerwetter gut beobachten. Vogel hat am Max-Planck-Institut für Meteorologie promoviert und war als Postdoktorandin in Bonys Gruppe auf Barbados dabei. Ihre Aufgabe war es damals, das Flugprogramm als leitende Wissenschaftlerin zu koordinieren. Dazu flog sie meist auf der französischen ATR-42 mit, gelegentlich auch auf der deutschen

Halo. Es sei eine sehr aufregende Zeit gewesen, erzählt sie begeistert, die Kampagne habe das internationale Team zusammengeschweißt.

Flugzeuge für jedes Wolkenstockwerk

Der deutsche Jet Halo war zuständig für das höchste Stockwerk. Er flog den oberen Kreisabschnitt des Zylinders im Lauf der vier Wochen 72-mal ab, hinzu kamen 13 solcher Rundflüge mit der amerikanischen WP-3D. Und jedes Mal saß Geet George im Heck, damals Doktorand in Stevens' Gruppe und heute Assistenzprofessor an der Technischen Universität Delft. Er kümmerte sich um eine zentrale Messung: Auf exakt zwölf Positionen des 360-Grad-Rundkurses, wie die Fünfminutenstriche auf einem Uhrenziffernblatt, schoss er Wurfsonden aus dem Flugzeug. Diese schwebten dann an Fallschirmen die zehn Kilometer hinunter zur Meeresoberfläche. Ihre Pappröhren enthielten einen Sender, drei Sensoren für Druck, Temperatur

und den relativen Feuchtegehalt der Umgebungsluft sowie einen GPS-Empfänger. Auf ihrem etwa zwölfminütigen Weg nach unten sendeten zwei- bis viermal pro Sekunde ihre Messwerte und Positionen an Halo. Besonders wichtig waren die GPS-Daten, denn sie lieferten die Information, wie weit der auf der jeweiligen Höhe herrschende Wind die Sonden zur Seite blies. Aus diesen Daten errechnete George, welche Luftmassen durch die gedachte Wand in das umzirkelte Messvolumen hereinfließen – oder hinaus. Da die Erhaltungssätze der Physik verbieten, dass Luft einfach verschwindet oder hinzukommt, lässt sich daraus errechnen, wie sich die Konvektion innerhalb des Zylinders verhält.

Die französische ATR-42 hatte die Aufgabe, innerhalb des gedachten Messzylinders viel tiefer, auf Höhe der Wolkenbasis, zu fliegen. Besonders wichtig waren dabei Instrumente, die die Wolken seitlich mit Radar und Lidar, eine Art Laserscanner, abtasteten. Sie lieferten vor allem Informationen über die Wolkentröpfchen und deren

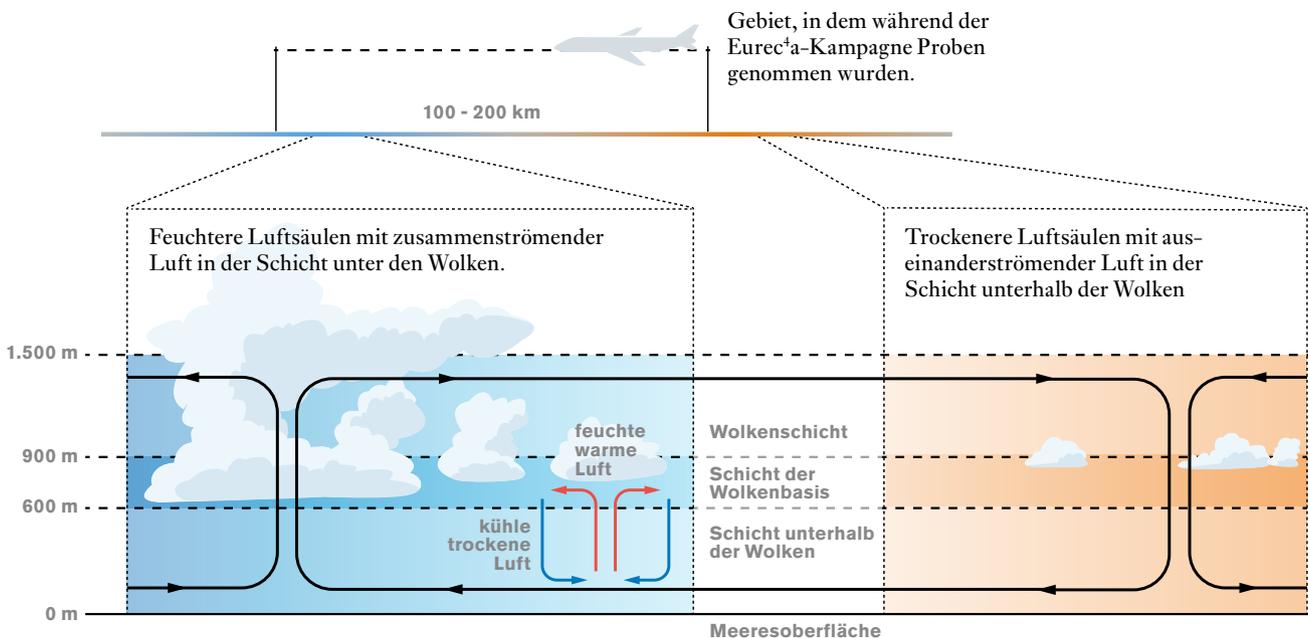
Bewegungen. Damit diese Instrumente möglichst horizontal blickten, musste das Flugzeug waagrecht im Geradeausflug ausgerichtet sein. Daher flog die ATR-42 immer wieder einen Kurs ab, der wie bei einem römischen Wagenrennen aus zwei engen Kurven und langen geraden Streckenabschnitten bestand. Auch hier war Disziplin gefordert, selbst wenn es kaum Wolken gab, um in den vier Wochen ein Gesamtbild bei allen Wetterlagen zu erhalten. „Das war nicht immer leicht durchzusetzen“, erzählt Raphaela Vogel lachend, „wenn etwas weiter weg ein schönes Gewitter lockte.“ Im Nachhinein ist sie vor allem beeindruckt davon, wie zuverlässig die Eurec⁴a-Daten sind. Aber was kam nun dabei heraus?

Dazu erklärt die Forscherin zunächst, was bei der Wolkenbildung grundsätzlich geschieht: Feuchte, von der Sonne erwärmte Luft steigt über dem Wasser auf, zum Ausgleich muss kühlere, trockene Luft aus größerer Höhe absinken. Wenn die feuchte Luft in diesem Konvektionsaufzug in die Höhe fährt, sinkt ihre Temperatur,

55



Eine bislang unbekanntere Feuchtigkeitskreislauf in der Atmosphäre: Quellwolken bilden sich dort, wo warme, feuchte Luft aufsteigt; zwischen den Wolken sinkt kühlere, trockene Luft hinab. Diese konvektive Strömung ist seit Langem bekannt. Im Eurec⁴a-Projekt haben Forschende nun eine mesoskalige Luftzirkulation über 100 bis 200 Kilometer entdeckt, die Feuchtigkeit dorthin bringt, wo die Wolken entstehen. Es ist daher nicht zu befürchten, dass die Passatwolken infolge der Erderwärmung wegtrocknen.



GRAFIK: GCO NACH GEORGE, G., STEVENS, B., BONY, S. ET AL. WIDESPREAD SHALLOW MESOSCALE CIRCULATIONS OBSERVED IN THE TRADES. NAT. GEOSCI. 16, 584–589 (2023).

und so kondensiert ein Teil des Dampfes zu Wolkentröpfchen. Diese feuchten, tröpfchenhaltigen Luftmassen vermischen sich mit den von oben kommenden trockeneren Luftmassen. Das lässt wieder einen Teil der Tropfen verdunsten. Dabei verschwindet das Wasser nicht, es wird nur wieder gasförmig und trägt so nicht zur Wolke bei. Ein wärmeres Klima allerdings könnte nun bewirken, dass sich weniger Wolkentröpfchen bilden, weil die von oben kommende Luft durch die Erderwärmung mehr Wasserdampf aufnehmen kann. Die Folge wäre, dass immer weniger Passatwolken entstehen, was wiederum – wegen der abnehmenden Spiegelwirkung – die Erderwärmung beschleunigen würde. Das wäre die bereits erwähnte positive Rückkopplung.

Den Ergebnissen der Eurec⁴a-Kampagne zufolge ist diese Rückkopplung bei Weitem nicht so stark, wie einige Klimamodelle befürchten ließen. Das zeigte ein Team um Raphaela Vogel, zu dem auch Bjorn Stevens und San-

drine Bony gehörten, in einer Publikation über die wichtigsten Resultate der Feldstudie im Fachblatt *Nature* im Dezember 2022. „Das sind doch mal gute Neuigkeiten für uns Menschen“, sagt Raphaela Vogel. Warum das so ist, erklärt Geet George. Er war maßgeblich an einer zweiten wichtigen Veröffentlichung zu den Ergebnissen beteiligt, die im Juli 2023 in *Nature Geoscience* erschien. Entscheidend seien atmosphärische Zirkulationen, erklärt der Wissenschaftler, die so klein sind, dass sie durch das Raster bisheriger globaler Klimamodelle fallen.

Genug Nachschub an Feuchtigkeit

Diese „flachen mesoskaligen Umwälz-zirkulationen“, englisch *shallow meso-scale overturning circulations*, erstrecken sich über Flächen in der Größenordnung des von Halo umflogenen Gebiets und reichen bis in etwa 1,5 Kilometer Höhe. „Mesoskalig“ bedeutet, dass es um Prozesse in mittelgroßen Räumen des Klimasystems von grob 100 bis 200 Kilometer Ausdehnung geht. Und diese Zirkulation durchmischt feuchte und trockene Luftmassen kräftiger, als einige glo-

bale Klimamodelle dies erwarten ließen. Grundsätzlich funktioniert sie wie die Konvektion, die Wolken entstehen lässt, nur dass sie sich genau in diesen mittelgroßen Räumen abspielt, die bei Barbados umflogen wurden. Sie liefert genügend Nachschub an Feuchtigkeit, um das Wegtrocknen der Wolkentröpfchen in einer wärmeren Umgebung weitgehend auszugleichen. Die aufsteigende, feuchte Luft und die fallende, trockene Luft bilden zusammen die aufsteigenden und absteigenden Teile der flachen, mesoskaligen Zirkulation – wie bei einem altmodischen Paternosteraufzug, der mit unterschiedlich besetzten Kabinen auf einer Seite hinauf- und daneben hinunterfährt.

„Wir haben ein neues Zirkulationssystem identifiziert, das die Variabilität in der Wolkenbedeckung beeinflusst“, bilanziert Bjorn Stevens. „Und dieser Mechanismus existiert in unseren bisherigen Klimamodellen nicht!“ Die Entdeckung, wie bedeutend diese flache Zirkulation in Räumen von etwa 100 bis 200 Kilometern für die heutige und zukünftige Existenz der Passatwolken ist, war die wichtigste Erkenntnis von Eurec⁴a. Darüber hinaus gab es noch andere neue Einsichten ins Wolkengeschehen, zum Beispiel wie Bewegung und Organisation

56

Scharfer Blick: Mit einem Laser messen Forschende Eigenschaften der Wolken, aus denen sie Temperatur- und Feuchtigkeitsprofile ableiten.



FOTO: MPI-M, F. BÄTTER

der Passatwindwolken den Niederschlag aus ihnen beeinflussen. Unter welchen Bedingungen aus Wolkentröpfchen Regen, Schnee oder Hagel wird, kann die Klimaforschung noch nicht genau erklären, dies ist aber für Wettervorhersagen und Simulationen regionaler Klimaveränderungen relevant. Um die Niederschlagsbildung in Passatwolken besser zu verstehen, hat Jule Radtke als Doktorandin am Max-Planck-Institut für Meteorologie die Messungen von Poldirad auf Barbados ausgewertet. „Poldirad“ steht für Polarisations-Doppler-Radar. Dieser technische Terminus besagt im Kern, dass das Großgerät über das Radarecho sehr genau die Bewegungen der Tröpfchen in einer Wolke verfolgen kann. Normalerweise steht Poldirad am DLR-Standort in Oberpfaffenhofen. Mit finanzieller Unterstützung der Max-Planck-Förderstiftung wurde die Anlage für Eurec⁴a demontiert und auf einem Schiff über den Atlantik geschickt. Nach mehreren Monaten kam sie in Barbados an und blieb erst einmal in den Zollformalitäten stecken. Doch trotz aller Hindernisse gelang es dem Team, das Radargerät rechtzeitig in der Nähe des Barbados Cloud Observatory in Betrieb zu nehmen.

Radtke untersuchte mit Daten von Poldirad, welchen Einfluss das Herdenverhalten der Passatwolken auf ihren Niederschlag hat. „Früher hieß es immer, dass diese kleinen Passatwindwolken Schönwetterwolken sind, die nicht hoch wachsen und daher auch nicht regnen“, sagt die Klimaforscherin, „und dass sie sich eher zufällig verteilen.“ Schon vor Eurec⁴a war aber klar, dass dieses Bild nicht stimmt. Radtke kam zu dem Ergebnis, dass der Herdentrieb einen deutlichen Einfluss auf das Regenverhalten der Wolken hat. Drängen sich die Wolken stärker zusammen, regnet es aus ihnen öfter. Denn offenbar schützen sie sich gegenseitig vor der Sonne. Das bewirkt eine feuchtere Atmosphäre und verhindert, dass Regentropfen wieder verdunsten, bevor sie den Boden erreichen. Dafür regnet es aus den Wolken in der Herde schwächer, weil in ihnen weniger Regen gebildet wird. „Das könnte daran liegen, dass da auch jüngere oder ältere Wolken

Wolkenjäger: Geet George war maßgeblich an den Messungen mit Halo beteiligt. Mithilfe von Wurfsonden bestimmte er die Konvektion in dem Gebiet, in dem das Forschungsflugzeug unterwegs war.



FOTO: DANIEL BECKMANN / DLR

mit herumhängen“, sagt Radtke lachend, „die noch nicht oder nicht mehr zum Niederschlag beitragen.“

Blumen und Fische am Himmel

Dass die Selbstorganisation der Wolken sehr komplex ist, hatte Bjorn Stevens' Team schon in der Vorbereitungsphase zu Eurec⁴a entdeckt. Mithilfe von Maschinenlernen und Mustererkennung hatten die Hamburger in Satellitenbildern vier verschiedene Herdenmuster identifiziert, die sie „Zucker (Sugar)“, „Kies (Gravel)“, „Blumen (Flowers)“ und „Fisch (Fish)“ taufte. Letztere Struktur erinnert tatsächlich an ein Fischskelett. Gemeinsam mit Hauke Schulz, der heute an der University of Washington in Seattle forscht, untersuchte Stevens unter anderem, ob ein hochauflösendes Klimamodell, das auf ein kleineres Gebiet beschränkt ist, um Rechenleistung zu sparen, mit den Eurec⁴a-Daten diese Muster simulieren kann. Für „Fisch“ und „Kies“ gelang die Simulation schon recht gut, für „Blumen“ nicht. Wie wichtig es ist, dass zukünftige Klimamodelle diese Strukturen ganz genau simulieren können, das sei noch offen, betont Stevens. Zumindest die durchschnittliche Wolkenbedeckung müssen die Modelle jedenfalls möglichst genau berechnen, die Wolkenform könnte dabei ein relevanter Faktor sein. Die Lehre aus Eurec⁴a sei, dass Klima-

modelle grundsätzlich viel feiner gestrickt sein müssen, um solche mesoskaligen Vorgänge auch in einem künftigen, wärmeren Klima simulieren zu können.

Bjorn Stevens ist optimistisch, dass die hochauflösenden Klimamodelle der Zukunft wesentlich genauere Vorhersagen für kleinräumige Vorgänge ermöglichen werden. Erst wenn Klimamodelle die Prozesse in der Atmosphäre noch besser erfassen, können sie etwa regionale Klimaveränderungen genauer prognostizieren. Dabei hilft sicher auch, dass der Klimaforschung immer leistungsfähigere Supercomputer zur Verfügung stehen. Die Feldforschung in der Natur werden aber auch diese Computer nicht ersetzen können. Im August und September 2024 läuft die Nachfolgefeldstudie Orcestra, und wieder wird Barbados die Basis sein.

57

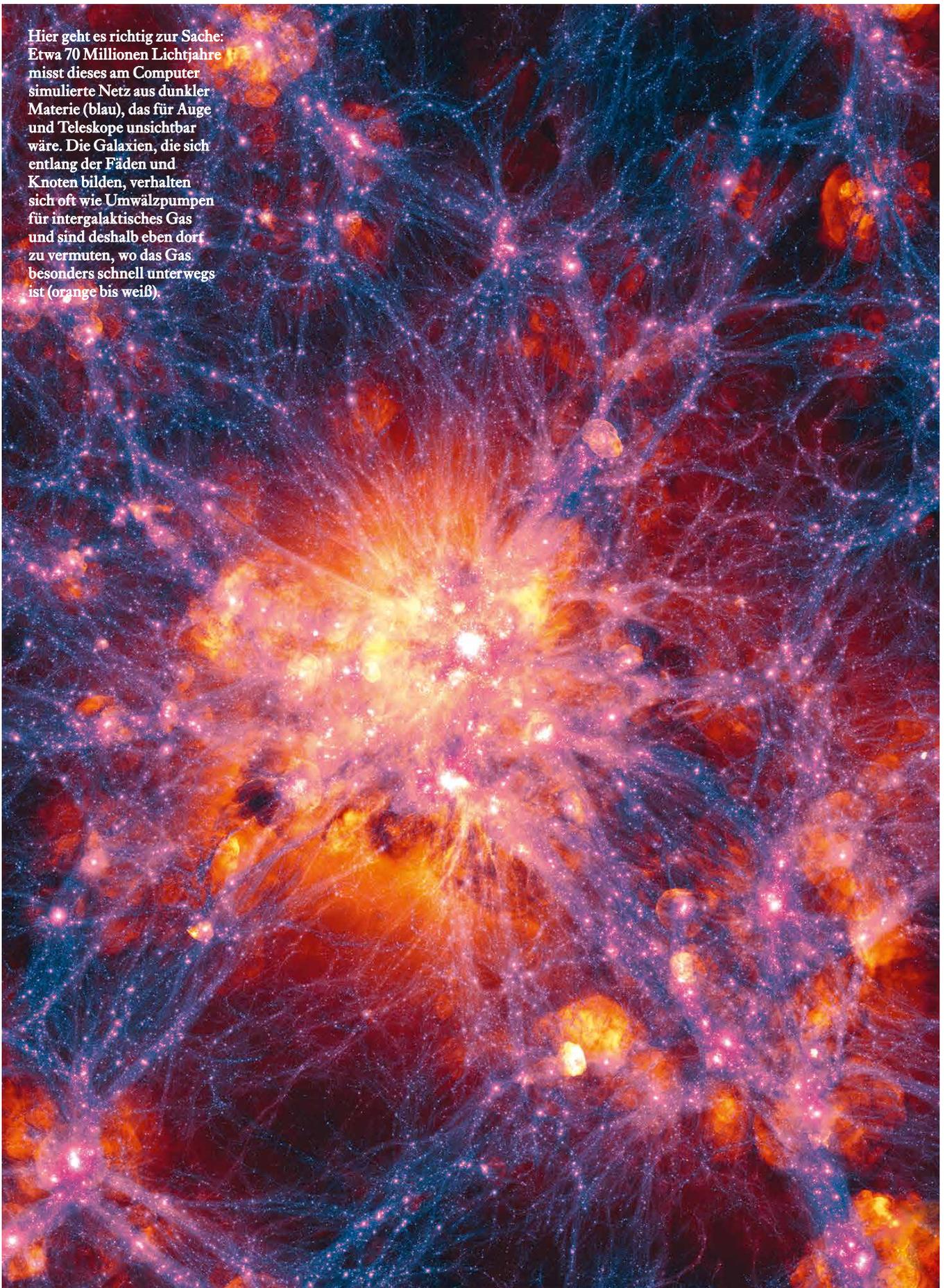


GLOSSAR

FLACHE MESOSKALIGE UMWÄLZZIRKULATION

heißt eine im Rahmen der Eurec⁴a-Kampagne entdeckte Luftbewegung, bei der in Räumen von 100 bis 200 Kilometern warme, feuchte Luft aufsteigt und kalte, trockene Luft absinkt. Die Zirkulation gleicht die durch die Erderwärmung verursachten Feuchtigkeitsverluste der Passatwolken aus.

Hier geht es richtig zur Sache: Etwa 70 Millionen Lichtjahre misst dieses am Computer simulierte Netz aus dunkler Materie (blau), das für Auge und Teleskope unsichtbar wäre. Die Galaxien, die sich entlang der Fäden und Knoten bilden, verhalten sich oft wie Umwälzpumpen für intergalaktisches Gas und sind deshalb eben dort zu vermuten, wo das Gas besonders schnell unterwegs ist (orange bis weiß).



DAS DIGITALE UNIVERSUM

TEXT: THOMAS BÜHRKE

Dunkle Materie und dunkle Energie bestimmen, wie das Universum aussieht. Das ist aber auch schon so ziemlich das Einzige, was Kosmologinnen und Kosmologen über sie wissen. Ihre Natur ist noch völlig unklar. Beobachten lassen sie sich nicht, aber ein Team um Volker Springel am Max-Planck-Institut für Astrophysik in Garching simuliert, wie die mysteriöse Materie und die rätselhafte Energie die Entwicklung des Alls geprägt haben – und lernt dabei nicht nur etwas über ihre Eigenschaften.

Wie geheimnisvolle Monolithe stehen Dutzende schwarzer Kästen im Garching Leibniz-Rechenzentrum. Miteinander verknüpft, bilden sie den leistungsfähigsten Supercomputer Deutschlands, den SuperMUC-NG. Unvorstellbare 27 Milliarden Rechenschritte pro Sekunde vollzieht diese Maschine – ideal für Volker Springels riesige Simulationen. Springel stieß Mitte der 1990er-Jahre zum Max-Planck-Institut für Astrophysik, als der Brite Simon White gerade mit dem Aufbau einer Forschungsgruppe begann. Der vielfach ausgezeichnete White gilt als einer der Pioniere von numerischen Simulationen der großräumigen Struktur im Kosmos. An-

ders gesagt: Mithilfe von Computermodellen ging er der Frage nach, wie sich aus dem heißen Gas nach dem Urknall im Laufe von Jahrmilliarden die heute sichtbare Vielfalt an Galaxien und Galaxienhaufen bildete. Dabei geht es nicht nur darum, die Entwicklung des Universums so zu simulieren, dass dieses im Computer die Form annimmt, die sich heute mit Teleskopen beobachten lässt: Wenn die Rechnungen zum richtigen Ergebnis führen, ist dies vielmehr auch ein guter Hinweis darauf, dass die Kosmologinnen und Kosmologen die Prozesse dahinter richtig verstehen.

Anders als so mancher Astronom hat Springel niemals den Drang verspürt, den Himmel durch ein Teleskop zu beobachten. Der Wunsch, Physik zu studieren, war indes schon früh da, und bereits in der Schulzeit beschäftigte er sich mit der numerischen Seite der Astrophysik. „Tatsächlich habe ich an ‚Jugend forscht‘ mit einer Computersimulation teilgenommen“, erinnert sich der Wissenschaftler. Als er später auf Simon Whites Arbeiten aufmerksam wurde, war klar, dass er bei ihm promovieren wollte. Wie sich zeigte, war dies die richtige Wahl. Nach einigen wegweisenden Erfolgen

in den vergangenen zwanzig Jahren ist Volker Springel heute ein ebenfalls mit zahlreichen Auszeichnungen ge-

59

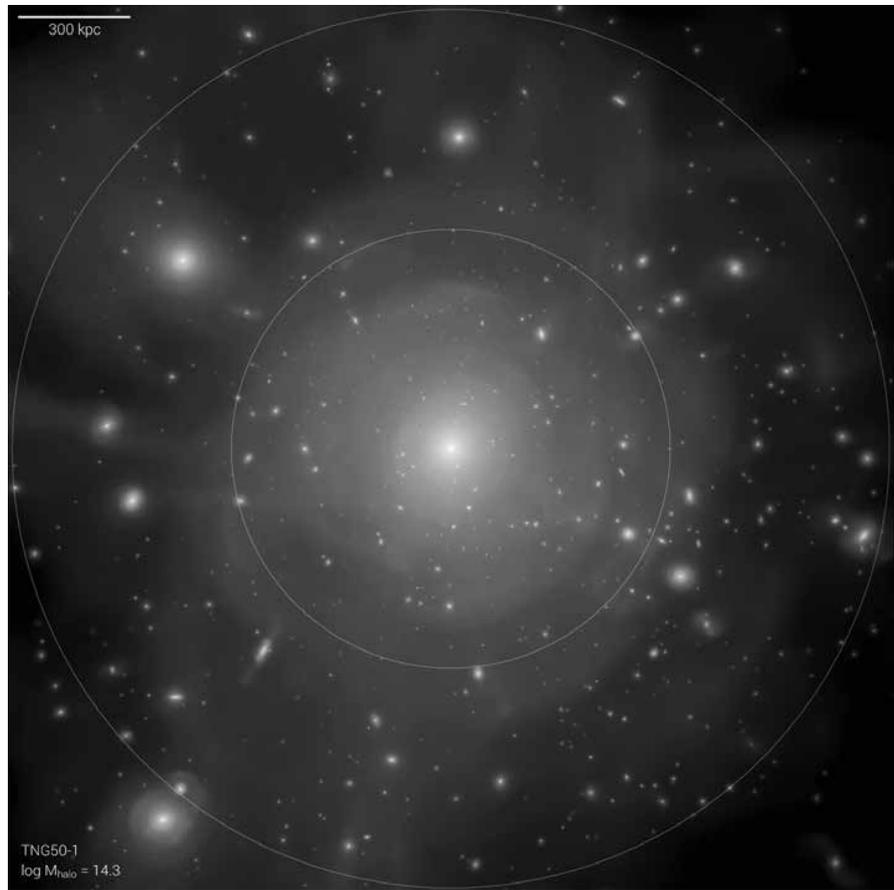
ehrter Wissenschaftler. Die kosmischen Simulationen laufen nach einem relativ einfachen Prinzip ab. In einem digitalen Volumen werden virtuelle Materieteilchen platziert. Anschließend verfolgt man in Zeitschritten ihre Bewegung, welche ausschließlich von der zwischen den Teilchen wirkenden Schwerkraft bestimmt wird. Die Anfangskonfiguration ist erfreulicherweise bekannt. Man erkennt sie in der kosmischen Mikrowellen-Hintergrundstrahlung. Diese entstand etwa 380 000 Jahre nach dem Urknall und ist heute am gesamten Himmel als nahezu homogene Verteilung nachweisbar. „Mit dem europäischen Weltraumteleskop Planck haben wir in diesem Strahlungshintergrund ein Fleckenmuster mit kleinsten Fluktuationen messen können, das auf Dichteschwankungen im Urgas zurückgeht“, erklärt Springel. Entsprechend muss auch das Gas kurz nach dem Urknall verhältnismäßig homogen verteilt gewesen sein. Und diese Beobachtung liefert die Anfangsbedingungen für die Simulationen.



Die Dichteschwankungen im Urgas waren so gering, dass sich einzelne Regionen mit einer höheren Masseansammlung selbst in Jahrmilliarden unmöglich mittels eigener Schwerkraft zu den heutigen Galaxien und Galaxienhaufen hätten verdichten können. Ein wichtiger Grund: Wenn sich ein Gas zusammenzieht, erwärmt es sich und baut damit einen thermischen Druck auf, der einer weiteren Kontraktion beispielsweise zu Sternen entgegenwirkt. Man kennt dieses Phänomen von der Luftpumpe: Hält man das Ventil zu und presst die Luft zusammen, so erwärmt sich diese und lässt sich nicht weiter komprimieren. Und dennoch existieren die Galaxien. Daher postulierten Forschende bereits vor vierzig Jahren die Existenz von Dunkle-Materie-Teilchen als Geburtshelfern. Wenn diese sich aufgrund der Schwerkraft verdichten, bauen sie keinen Druck auf, der die weitere Kontraktion verhindern würde. Auf diese Weise formten die Teilchen der dunklen Materie riesige Gebilde. Diese wirkten als Schwerkraftfallen, in welche die normale Materie hineinströmte, sich langsam abkühlte und Sterne und Galaxien bildete. Simulationen helfen zu verstehen, wie sich dunkle Materie im Universum verteilt und welche Eigenschaften sie haben könnte. Dunkle Materie sendet kein Licht aus und verschluckt es auch nicht. Obwohl in jeder Sekunde vermutlich rund eine Milliarde Dunkle-Materie-Teilchen

unseren Körper durchqueren, ist noch unklar, woraus sie bestehen. Bekannt ist aber, dass ihr Masseanteil im Universum rund fünfmal größer ist als jener der normalen Materie, die sehr wohl mit Licht interagiert und damit für Teleskope sichtbar ist. Numerische Simulationen der kosmischen Evolution müssen aus diesem Grund stets sowohl die dunkle als auch die normale, für uns sichtbare Materie berücksichtigen. Aus Letzte-

Dunkle-Materie-Teilchen in einem würfelförmigen Volumen mit 1,6 Milliarden Lichtjahren Kantenlänge. Das Ergebnis stimmte in beeindruckender Weise überein mit der Verteilung von Galaxien im Universum, die von der Erde aus mit Teleskopen beobachtet werden kann: Galaxien sammeln sich in Gruppen und Haufen unterschiedlicher Größe. Diese sind wiederum miteinander zu Supergalaxienhaufen verbunden, die eine blasen-



AUF DEN PUNKT GEBRACHT

Numerische Simulationen auf Superrechnern ermöglichen es, die Entwicklung des Kosmos vom heißen Urgas bis zu den heutigen Galaxien zu rekonstruieren.

Die Rechnungen berücksichtigen sowohl die sichtbare Materie, aus der alle Sterne und Planeten bestehen, als auch die dunkle Materie und die dunkle Energie und geben Aufschluss über deren Verteilung und Eigenschaften.

rer bestehen alle Sterne, die Planeten und auch wir Menschen.

Vor etwa zwanzig Jahren sorgte ein Team um Simon White und Volker Springel mit der Millennium-Simulation für große Aufmerksamkeit. Es war den Forschenden gelungen zu berechnen, wie sich die Verteilung der dunklen Materie im expandierenden Universum über Jahrmilliarden hinweg verändert haben muss. Sie nutzten dazu mehr als zehn Milliarden

artige Struktur aus Fäden und Wänden bilden und große Leerräume umschließen, ähnlich wie ein Schaum. Die Galaxien scheinen sich genau dort gebildet zu haben, wo sich gemäß der kosmologischen Simulation die dunkle Materie zusammenklumpte.

Mehrere Monate Rechenzeit waren nötig gewesen, um die Entwicklung der Dunkle-Materie-Teilchen seit dem Urknall vor 13,4 Milliarden Jahren bis heute in 11 000 Zeitschritten zu simu-

lieren. Ein großer Erfolg, dem aber zwei Mängel anhafteten. Zum einen repräsentierte jedes Teilchen in der Computersimulation eine Masse von 860 Millionen Sonnenmassen, was der Masse einer kleinen Galaxie entspricht. Die Simulation bildete die Verteilung der dunklen Materie daher immer noch mit sehr grober Auflösung ab. Zum anderen konnte die Millennium-Simulation ausschließlich die Verteilung dunkler Materie

Halos ist nämlich ein sehr dynamischer Vorgang: Dunkle-Materie-Halos können miteinander verschmelzen, es entstehen dabei etwa größere Strukturen mit kleinen Subhalos. Um der tatsächlich beobachteten Verteilung der Galaxien am nächsten zu kommen, simuliert die Königsklasse der Algorithmen die normale Materie gleich mit, aus der sich dann entlang der Schwerkraftfalle der dunklen Materie die Galaxien automatisch her-

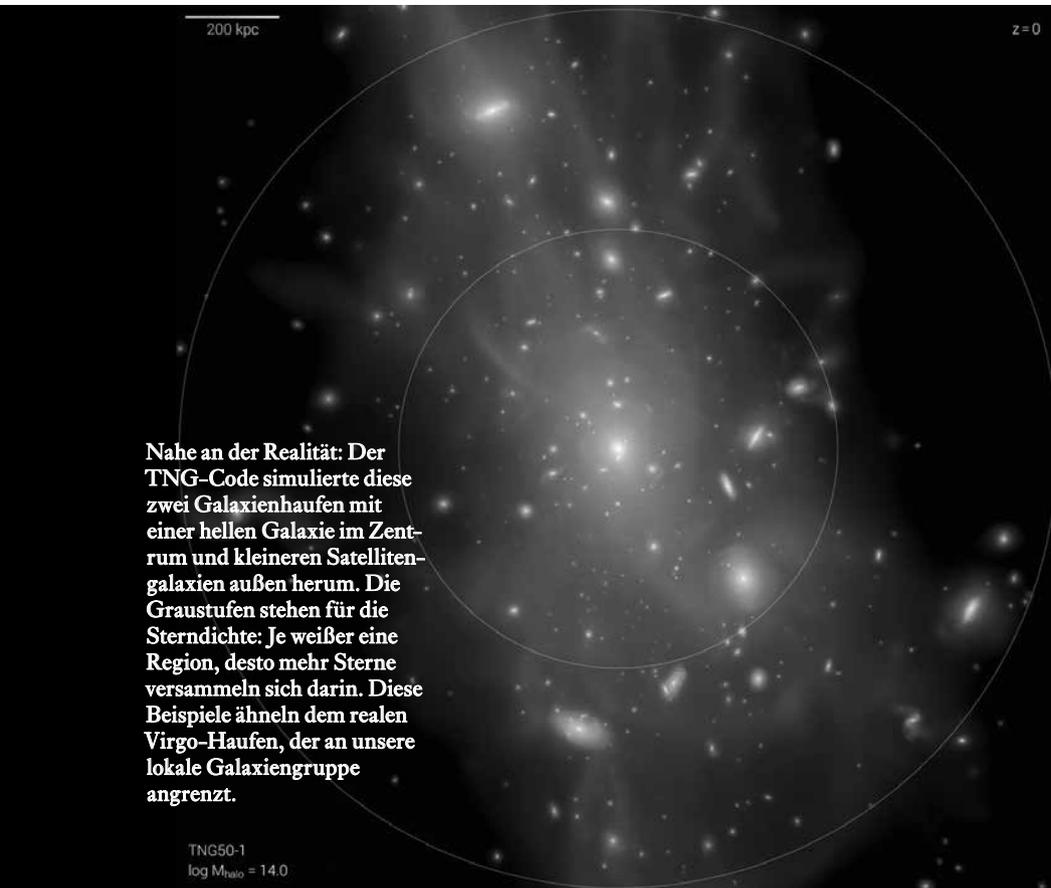
ren. Die kosmische Strukturbildung wird somit zu einem sich selbst regulierenden Prozess, in dem Sterne auf ihre Umgebung einwirken und so die Entwicklung der nächsten Generation von Sternen beeinflussen – und damit die Gestalt der Galaxien selbst.

Dieses komplexe Wechselspiel berücksichtigte erstmals die Illustris-Simulation. In ihr berechnete ein Team unter Leitung von Volker Springel und Mark Vogelsberger vom Massachusetts Institute of Technology zahlreiche physikalische Wechselwirkungen der dunklen und der normalen Materie über die gesamte kosmische Geschichte hinweg. Und auch wenn sie ein Universum simulierten, das nur etwa ein Siebzigstel der Größe der Millennium-Simulation hatte, haben sie damit ein wahres Rechenmonster geschaffen. Das Ergebnis war indes verblüffend: Die ausgefeilten Modelle ließen tatsächlich eine realistische Population von Galaxien entstehen, wie wir sie heute beobachten.

Ein Auge fürs Detail ⁶¹

Ein Trick war hier für das Gelingen entscheidend: der sogenannte Moving-Mesh-Code namens Arepo. Arepo unterteilt das simulierte Universum nicht wie üblich in ein starres Gitter, sondern verwendet ein sich bewegendes Gitter, dessen Zellengröße sich dynamisch den Gegebenheiten anpasst: Wo viel passiert, verengt sich das Gitter, sodass es kleinere Details rechnen kann, dafür weitet es sich in aktivitätsarmen Regionen. Mit dieser Zoomtechnik verringert sich der Rechenaufwand erheblich.

Das Team beobachtete so, wie etwa 50 000 Galaxien unterschiedlicher Größe entstehen und sich entwickeln, und verglich die Ergebnisse direkt mit den Beobachtungen. Dabei entdeckten die Forscherinnen und Forscher mit Illustris, dass bei der simulierten Evolution des Universums all jene Typen von Galaxien entstehen, die Edwin Hubble schon im frühen 20. Jahrhundert klassifiziert hatte. Mit der Nachfolgersimulation, The Illustris Next Generation, kurz Illus-

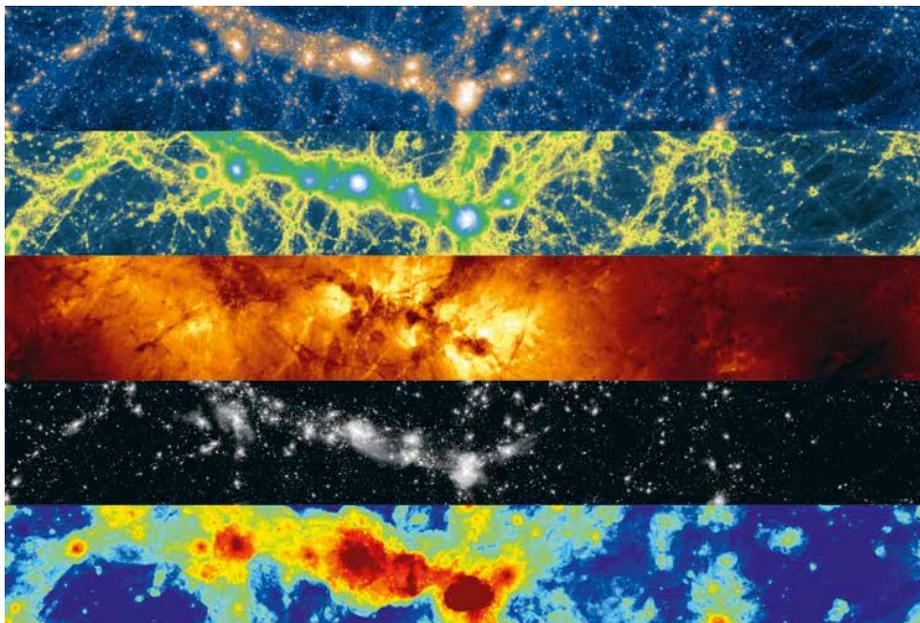


Nahe an der Realität: Der TNG-Code simulierte diese zwei Galaxienhaufen mit einer hellen Galaxie im Zentrum und kleineren Satellitengalaxien außen herum. Die Graustufen stehen für die Sterndichte: Je weißer eine Region, desto mehr Sterne versammeln sich darin. Diese Beispiele ähneln dem realen Virgo-Haufen, der an unsere lokale Galaxiengruppe angrenzt.

berechnen. Die normale Materie wurde am Schluss in Form leuchtender Galaxien mit einem einfachen, sehr unsicheren Verfahren ergänzt.

Schon bald wurde klar, dass die Entstehung von Galaxien nicht nur von der Größe der Dunkle-Materie-Strukturen, auch Halos genannt, abhängt. Vielmehr spielen auch deren Entstehungszeit, Rotation, Form, Dichteverteilung und mögliche Unterstruktur eine Rolle. Die Entwicklung der

ausbilden. Das erfordert einen erheblich höheren Aufwand, weil man dann physikalische Vorgänge berücksichtigen muss, die bei der dunklen Materie nicht auftreten: Wenn sich etwa normale Materie verdichtet, erwärmt sie sich, bis in sehr dichten Teilen von Gaswolken die Kernfusion zündet und Sterne entstehen. Insbesondere massereiche Sterne verändern mit intensiver Strahlung und heftigen Teilchenwinden wiederum ihre Umgebung, bis sie als Supernovae explodieren.



Vielschichtig: Ein und derselbe, etwa 350 Millionen Lichtjahre breite Ausschnitt der Illustris-TNG-Simulation in verschiedenen Darstellungsformen. Von oben nach unten: Dunkle-Materie-Dichte, Gasdichte, Geschwindigkeitsverteilung des Gases, Sternendichte und Gastemperatur.

62

trist-TNG, erhielten die Forschenden Simulationen unterschiedlicher räumlicher Zoomstufen und konnten damit sogar Galaxienhaufen und das Verhalten darin enthaltener Galaxien über Milliarden von Jahren studieren. Vor wenigen Jahrmilliarden etwa war das Universum besonders aktiv. Hier verschmolzen vermehrt Galaxien miteinander, was viel Materie in die Nähe supermassereicher Schwarzer Löcher in den Zentren der Galaxien spülte. Gebündelte Teilchenstrahlen, sogenannte Jets, schleuderten Teile davon wiederum in das intergalaktische Gas. Diese kosmischen Umwälzpumpen, auch aktive Galaxienkerne genannt, beobachtet man tatsächlich, und sie beeinflussen – sowohl in der Simulation als auch in der Realität –, ob und wie viele Sterne in der Galaxie entstehen. Ein weiterer Mechanismus der Selbstregulation.

Mit Illustris-TNG gingen die Forschenden noch weitere Fragen an, etwa wie sich die galaktische Materie mit schweren Elementen anreicherte. Kurz nach dem Urknall sind fast nur die leichtesten Elemente entstanden, Wasserstoff und Helium. Alle anderen, schweren Elemente des Periodensystems, wie Kohlenstoff, Stickstoff, Sauerstoff oder Eisen, wurden erst später im Innern von Sternen durch

Kernfusion gebildet. Von dort gelangten sie durch Teilchenwinde oder bei Sternexplosionen ins interstellare Medium, wo sie als Rohstoffe für neue Sterne und Planeten zur Verfügung standen. Sterne nachfolgender Generationen müssten also höhere Anteile schwerer Elemente enthalten als Sterne früherer Generationen. Diese chemische Evolution beobachten Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler tatsächlich innerhalb unserer Milchstraße sowie in fernen Galaxien. Und auch hier punktet die Illustris-TNG-Simulation: Ihre Vorhersagen zum mittleren Alter der Sterne und deren Gehalt an schweren Elementen stimmt gut mit den Beobachtungen überein.

Die Welt im Computer sieht also der realen Welt schon sehr ähnlich. Das liegt – außer an der enormen Rechenleistung – an cleveren Computer-codes, die astrophysikalische Zusammenhänge aus Beobachtungen in Parameter der Simulation übersetzen. Direkt simulieren kann man die Entstehung der einzelnen Sterne mit Illustris-TNG nämlich nicht, denn selbst in der am höchsten auflösenden Variante repräsentiert jedes Masselement der normalen Materie 85 000 Sonnenmassen und jedes der dunklen Materie sogar 450 000 Sonnenmassen.

Da heute aber weitgehend bekannt ist, unter welchen Bedingungen (Größe, Dichte, Temperatur) eine interstellare Wolke kollabiert und wie viele Sterne mit welcher Masse in ihr entstehen, kann man diesen Vorgang mitrechnen. So vollzieht sich virtuell eine astrophysikalische Evolution über Jahrmilliarden hinweg.

Klein trifft Groß

Aus kosmologischer Sicht sind die Volumina, in denen Illustris-TNG die dunkle und die normale Materie gleichzeitig simuliert, noch relativ klein. Mit einer neuen Simulation namens Millennium-TNG, die im letzten Jahr veröffentlicht wurde, schlossen die Forscherinnen und Forscher nun an die Millennium-Simulation an, welche den bis dato größten Ausschnitt des Universums simulierte. Millennium-TNG übertrifft selbst diese Größe und bildete einen tausendmal größeren Raumbereich ab, als es noch mit Illustris-TNG möglich war.

Millennium-TNG benötigte vier Monate Rechenzeit, um zu verfolgen, wie sich in einer Region mit 2,4 Milliarden Lichtjahren Durchmesser etwa einhundert Millionen Galaxien ent-



wickelten. Das war damit wohl die aufwendigste aller Simulationen, die im selben Jahr in München durchgeführt wurden. „Wir mussten die Effizienz des Codes enorm steigern, um das Programm überhaupt zum Laufen zu bringen“, erklärt Springels Kollege Rüdiger Pakmor, der maßgeblich an Millennium-TNG gearbeitet hat. Insbesondere die optimale Parallelisierung über 120 000 Rechenkern hinweg war eine erhebliche Herausforderung. „Wir konnten nicht alle 300 000 Kerne nutzen, weil wir damit den restlichen Betrieb in der Zeit völlig lahmgelegt hätten.“

Die Mühe hat sich gelohnt: Millennium-TNG hat mehr als drei Petabyte an Simulationsdaten geliefert – das ist etwa so viel, wie mehrere Hundert handelsübliche Festplatten heute speichern können. Bislang sind die Daten nur zum Teil ausgewertet, viele Fragen warten noch auf Antworten, so zum Beispiel jene nach der

Galaxienentstehung im jungen Universum. Das James-Webb-Weltraumteleskop hat jüngst Galaxien aufgespürt, die schon wenige Hundert Millionen Jahre nach dem Urknall zu enormer Größe angewachsen zu sein scheinen – zumindest legt das ihre große Leuchtkraft nahe. „Mit diesem raschen Wachstum tun sich unsere Simulationen noch recht schwer“, sagt Springel. „Vielleicht ist die Sternentstehung kurz nach dem Urknall viel effizienter gewesen als zu späteren Zeiten, oder vielleicht sind damals massereiche, leuchtkräftige Sterne in höheren Anteilen entstanden, was diese Galaxien ungewöhnlich hell macht“, ergänzt Pakmor. Auch hier können Simulationen Hinweise geben, was damals wirklich passiert ist.

Die Simulationen bestätigen eindrucksvoll das heutige Standardmodell der Kosmologie. Es erreicht eine Präzision, von der vor zwei Jahrzehnten noch kaum jemand zu träumen ge-

wagt hätte, und ist in sich widerspruchsfrei, was auch nicht immer der Fall war. Aber: Es funktioniert nur, wenn die Simulationen die ominöse dunkle Materie und die noch rätselhaftere dunkle Energie berücksichtigen. Letztere lässt das Universum beschleunigt expandieren. Die Kosmologinnen und Kosmologen stehen heute also vor der erstaunlichen Erkenntnis, dass sie zwar die rund 14 Milliarden Jahre währende Evolution des Kosmos recht genau rekonstruieren können, jedoch über die Natur der beiden Hauptakteure – dunkle Materie und dunkle Energie – fast nichts wissen.

←

Die Schöpfer von Millennium-TNG bei der Arbeit: Gemeinsam interpretieren Volker Springel (links) und Rüdiger Pakmor die Dunkle-Materie-Strukturen des Universums, das sie mithilfe eines Supercomputers simuliert haben.

63



FOTO: AXEL GRIESCH FÜR MPG

←



FOTO: ALEXANDER MAGERL / MPI FÜR KOLLOID- UND GRENZFLÄCHENFORSCHUNG

Was ist da im Wald gelandet? Dieses Objekt aus Rindengewebe soll zu Ideen inspirieren, was in der Architektur aus Baumrinde gefertigt werden könnte. Max-Planck-Forscherinnen haben es für eine Fotosession in den Brandenburger Forst gebracht.

NATÜRLICH GUT VERPACKT

TEXT: PETER HERGERSBERG

Für Pflanzen sind Funktionsmaterialien überlebenswichtig. So schützen sich Bäume mit Rinde vor Schäden etwa durch Hagel, Steinschlag oder gar Feuer. Und Pflanzen verpacken auch ihre Samen so, dass diese nach Bedarf extreme Hitze oder Kälte überstehen und bei günstiger Witterung keimen können. Forscherinnen und Forscher des Max-Planck-Instituts für Kolloid- und Grenzflächenforschung analysieren, wie die Biomaterialien zu ihren Eigenschaften kommen und ob sie etwa Leder oder Plastik ersetzen könnten.

Es fühlt sich glatt an, weich und ein bisschen kühl. Das handtellergroße, hellbraune Muster sieht aus wie Leder und liegt auch so in der Hand. Doch Charlett Wenig hat dem Besucher keine gegerbte Tierhaut in die Hand gedrückt, sondern ein Stück Baumrinde. „Die Ähnlichkeit hat uns selbst überrascht“, sagt die Wissenschaftlerin des Max-Planck-Instituts für Kolloid- und Grenzflächenforschung. Sie strahlt begeistert: Was sich so ähnlich anfühlt wie Leder, könnte sich ja vielleicht auch so nutzen lassen, nämlich für Kleidung, überlegt die studierte Industrie- und Produktdesignerin.

Dabei ging es ihr zu Beginn gar nicht um Kleidung – das ergab sich mehr oder weniger spontan –, und es ging ihr nicht einmal um Rinde: Charlett Wenig will Design mit Materialwissenschaften kombinieren und sucht nach sinnvollen Verwendungen für Materialien, die eigentlich als Abfall gelten. Sie tat das schon im Rahmen ihrer Masterarbeit an der Hochschule für Künste Bremen: Zunächst forschte sie da nach Möglichkeiten, aus Tierknochen etwas Nützliches zu machen. Inspiriert hatten sie dazu auch Knöpfe und Messergriffe, die in vergangenen Jahrhunderten manchmal aus Knochen gefertigt wurden. In ihren Experimenten löste sie unter anderem anorganische Bestandteile aus dem Material, sodass vor allem das zähe und flexible Kollagen zurückblieb. Daraus stellte Charlett Wenig zum Beispiel Protektoren für Sportarten wie Skaten her, bei denen es nicht ohne Stöße oder Stürze abgeht. In ihrer Doktorarbeit wollte sie sich dann aber nicht mehr länger mit Knochen beschäftigen. Auch ein Grund dafür: Knochen riechen ziemlich unangenehm. So nahm sie Kon-

takt auf mit Peter Fratzl, dem Direktor der Abteilung Biomaterialien am Max-Planck-Institut für Kolloid- und Grenzflächenforschung. Auf der Suche nach natürlichen verwertbaren Abfällen stieß Charlett Wenig recht schnell auf den reichlich vorhandenen Ausschuss aus der Herstellung von Möbeln, Holzplatten und Papier: Baumrinde. So landete sie schließlich in der Gruppe von Michaela Eder, die pflanzliche Materialien auch mit Blick auf mögliche Anwendungen erforscht.

Die Holzverarbeitende Industrie entsorgte im Jahre 2018 rund 500 000 Tonnen des Materials, mit dem sich Bäume gegen äußere Einflüsse schützen. Derzeit wird ein Teil der Baumrinde als Mulch im Garten oder in Spanholzplatten verwendet, einem Teil werden Tannine als Gerbstoffe entzogen – den größten Teil allerdings verbrennt man, um daraus Energie zu gewinnen. Und dies, obwohl manche Rinden viel Asche hinterlassen und andere nicht einmal gut brennen, zumal die, die Bäume vor Feuer schützen sollen.

65



Lederartig, aber pflanzlich: Charlett Wenig (links) und Johanna Hehemeyer-Cürten haben aus Kiefernrinde, die sie mit einem Feuchthaltemittel flexibel gemacht haben, unter anderem Jacken genäht.



FOTO: ARNE SÄTTLER FÜR MPG

66

Sollte sich aus der Verpackung der Bäume nicht etwas Sinnvolleres machen lassen? Charlett Wenig rief beim nächsten Förster an und hatte gleich Glück: „Der hat das Projekt von Anfang an unterstützt – das hätte auch anders laufen können.“ Mit seiner Einwilligung löste Charlett Wenig von einigen geschlagenen Kiefern die Rinde vorsichtig in möglichst großen Platten ab und kam so zu einigen handtuchgroßen Platten des Materials. Dass ausgerechnet die Kiefer auf dem oftmals sandigen brandenburgischen Boden sehr gut gedeiht, erwies sich dabei als Glücksfall. Denn sie kleidet sich in zwei Arten von Rinde: Unten am Stamm, wo der wachsende Baum abgestorbenes Pflanzengewebe aufsprengt, wird die Hülle schuppig. Oben ist der Stamm in Spiegelrinde gepackt – Rinde, die zu einem großen Teil aus lebendem Gewebe besteht und glatt und glänzend erscheint. „Solange die Spiegelrinde feucht ist, lässt sie sich knautschen wie ein steiferes Leder“, sagt die Wissenschaftlerin. Und eine lederartige Rinde ist natürlich auch für Anwendungen interessant: „Leder gilt als sehr hochwertig, und im Design wird intensiv daran geforscht, wie es sich ersetzen lässt.“

Vielleicht könnte also Rinde als pflanzliche Alternative zu dem tierischen Material dienen. Dafür musste Char-

lett Wenig zunächst ein Problem lösen: Als sie das Material trocknete, verlor es seine Flexibilität und wurde spröde. Doch ein paar Tage in einem Bad aus Wasser und Glycerin, das auch Lebensmittel und kosmetische Cremes feucht hält, machten die Rinde wieder so weich und formbar,

AUF DEN PUNKT GEBRACHT

Baumrinde gilt als Abfall und wird derzeit großteils verbrannt. Max-Planck-Forscherinnen untersuchen die Eigenschaften von Rinde, um sie für Anwendungen in Mode und Architektur oder als Verpackungsmaterial zu nutzen.

Die Samenkapseln von *Banksia attenuata* geben die Samen in zwei Schritten frei: Sie öffnen sich geringfügig bei Feuern und ganz bei Regen. Für die Keimung sind dann Nährstoffe in der Asche sowie Feuchtigkeit vorhanden.

Samenschalen schützen den Pflanzenembryo vor Umwelteinflüssen wie Eiskristallen und UV-Strahlung. Sie könnten die Entwicklung nachhaltiger Verpackungsmaterialien inspirieren, die dann etwa aus Baumrinde gewonnen werden.

als käme sie frisch vom Baum. Wahrscheinlich verdankt die Kiefernrinde ihre Flexibilität auch einem Merkmal, das in der Forschung des Potsdamer Teams immer wieder eine zentrale Rolle spielt: dem Zellulosefibrillenwinkel. Er gibt an, wie sich die Zellulosefasern bezüglich der Längsachse der Pflanzenzellen orientieren. Ist der Winkel groß – wie in der Kiefernrinde, aber auch in den Stämmen junger Bäume –, ist das pflanzliche Material leicht verformbar. Werden die Bäume älter und kräftiger, bilden sie Holz mit einem kleineren Zellulosefibrillenwinkel – die Stämme werden steifer. Michaela Eder führt den Effekt an einem dicken, geraden Draht und einer Spiralfeder aus dem gleichen Draht vor. Das Stück Draht, das für eine Zellulosefaser parallel zur Wuchsrichtung steht, also einen kleinen Zellulosefibrillenwinkel, kann sie nicht dehnen. In der Spiralfeder aber windet sich der Draht respektive die Zellulosefaser in einem großen Winkel um die Längsachse, die der Wuchsrichtung entspricht. Die Feder lässt sich daher mit wenig Kraft verformen.

Dass Kiefernrinde so geschmeidig in der Hand liegt, zumindest solange sie feucht ist, brachte Charlett Wenig auf den Gedanken mit der Rindenkleidung: „Rinde ist die Schutzschicht des Baums. Wie würde es sich also für

einen Menschen anfühlen, in Rinde gehüllt zu sein? Zum Beispiel in eine Jacke aus Rinde.“ Von der Idee erzählte Wenig der Modedesignerin Johanna Hehemeyer-Cürten, die heute ebenfalls am Potsdamer Max-Planck-Institut forscht. „Der Plan war ein bisschen riskant, denn dafür mussten wir fast das ganze Material einsetzen, das wir damals hatten.“ Trotzdem schneiderten sie ihrem Kollegen Friedrich Reppe eine kurze Jacke mit Stehkragen.

Das Projekt lief, von ein paar Schwierigkeiten beim Nähen abgesehen, super – bis das Fotoshooting anstand: Die Forscherinnen baten ihren Kollegen, dafür seine Brille abzulegen. „Das geht nicht“, antwortete der hilflos: Er konnte die Arme nicht heben. Die Rinde war doch deutlich steifer, als sie sich angefühlt hatte – keine gute Voraussetzung für Kleidung. Von dem Rückschlag ließen sich Charlett Wenig und ihre Kolleginnen aber nicht entmutigen. Aus dem Rest ihres Materials schnitten sie Streifen, etwa so schmal wie Bandnudeln, und verwebten sie. Die Jacke, die daraus entstand, war wesentlich flexibler. „Würde man das Webmuster weiterentwickeln, wäre es gut möglich, eine Jacke mit einem ähnlichen Tragegefühl wie dem

einer Lederjacke herzustellen“, sagt Johanna Hehemeyer-Cürten. Problematisch sei allenfalls, dass die Rinde brüchiger ist als Leder. Die Forscherinnen untersuchen auch, ob sich Baumrinde – außer für Kleidung – für Accessoires wie Schuhe oder Taschen eignet. So schufen sie unter anderem eine Kollektion von Schuhen mit markanten Sohlen aus Robinienrinde. Mit den Jacken, den Schuhen und Taschen geht es ihnen nicht darum, marktfähige Produkte zu designen: „Die Entwürfe sollen vielmehr einen Diskurs zum nachhaltigen Umgang mit Materialien anstoßen“, sagt Charlett Wenig. Sie und ihre Kolleginnen wollen dabei auch Ideen jenseits von Mode anregen, zum Beispiel für die Architektur. Um Inspiration in dieser Richtung zu bieten, konstruierten sie aus Rindengewebe eine unten offene Kugel, die von Metallstützen getragen wird und normalerweise im Foyer des Instituts steht. „Wir könnten uns

vorstellen, dass Gebäude, die lediglich für eine relativ kurze Zeit gebraucht werden, aus Rinde konstruiert werden, also zum Beispiel Pavillons auf Messen oder bei Ausstellungen“, sagt Johanna Hehemeyer-Cürten. Schon früher habe man Hütten aus Baumrinde gebaut. Und im Neuen Garten in Potsdam, gar nicht weit weg vom Max-Planck-Institut, gibt es noch Rindenhütten, die gepflegt und erhalten werden.

Stabile Rindenplatten

Doch nicht nur Hütten könnten sich aus Rinde konstruieren lassen, der Werkstoff könnte auch dort zum Einsatz kommen, wo heute Spanplatten verwendet werden, wie eine Studie des Potsdamer Teams zeigt. Auf die Idee zu der Untersuchung kam Charlett

BILD: CC-BY 4.0, HUSS ET AL., 2018, ADVU SCI., 5, 1, HTTPS://DOI.ORG/10.1002/ADVS.201700572

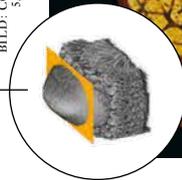
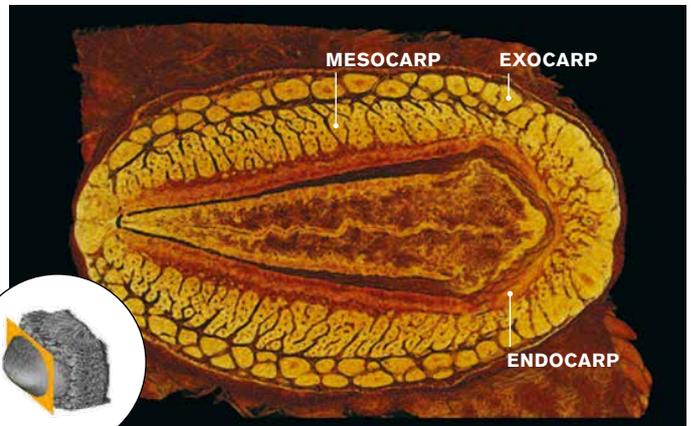


FOTO: FRIEDRICH REPPE

Ins Material programmierte Start-hilfe: Die Samenkapseln des australischen Baumes *Banksia attenuata* sitzen unregelmäßig verteilt in einem Fruchtstand (links). Ihre Kapselwände bestehen aus drei Schichten – Endocarp, Mesocarp und Exocarp –, die in der Computertomografie (oben) zu erkennen sind. In den Schichten sind die Zellulosefibrillen unterschiedlich angeordnet, sodass sie sich beim Quellen und Trocknen verschieden verhalten. Daher öffnet sich die Kapsel zunächst ein wenig, wenn ein Feuer Nährstoffe in den Boden gebracht hat. Erst nach Regen öffnet sie sich ganz.

Wenig, als sie die gebogene feuchte Rinde in ein Gestell einspannte, um daraus ebene Platten zu formen und zu trocknen. Damals überlegte sie, ob sich Rinde auch durch Pressen glätten ließe. Warum nicht einfach mal ausprobieren? Also legte sie jeweils zwei Rindenstücke unter anderem von Eiche und Lärche mit der korkigen beziehungsweise schuppigen Außenseite aufeinander. Anschließend presste sie die Stücke bei 90 Grad Celsius 20 Minuten lang zusammen. So entstanden ganz ohne Klebstoff stabile Platten mit glatten Oberflächen. Dass sich Rinde ohne Klebstoff verbinden lässt, ist ein Vorteil gegenüber Spanplatten. „Klebstoffe machen es schwer, das Material zu recy-



celn“, sagt Charlett Wenig. Was aber für Anwendungen mindestens genauso wichtig ist: Die Platten waren etwa so bruchfest und steif wie herkömmliche Spanplatten, und das schon bei den ersten Versuchen. „Das hat uns selbst überrascht“, sagt Michaela Eder. „Denn Spanplatten werden immerhin schon seit Jahrzehnten optimiert.“ Als besonders bruchfest erwiesen sich die Eichenpaneele, sie hielten sogar mehr Belastung aus als Spanplatten. Warum die Eichenrinde so stabil ist, wissen die Forscherinnen noch nicht. Sie könnten sich jedenfalls vorstellen, dass solche Platten als nicht tragende Teile im Hausbau, als Fußbodenbelag oder in Möbeln eingesetzt werden könnten. Für die Möbelschreinerei könnte hilfreich sein, dass sich die Rindenplatten mit wenig Aufwand auch in gebogene Formen pressen lassen. „Und wer weiß, vielleicht kommt auch die Eichenvertäfe-

lung mal wieder in Mode – nichts ist ausgeschlossen“, sagt Charlett Wenig.

Gut verpackter Samen

Auch dafür, wie weiche Rinde sich nutzen lassen könnte, verfolgt das Team eine neue Idee. Die Forscherinnen denken dabei an Ersatz für Plastikverpackungen. Die Natur gibt dafür reichlich Anregungen. Denn die Evolution hat nicht nur Bäume in robuste und selbst heilende Schutzhüllen gekleidet. Sie hat sich vor allem erfindereich gezeigt, wenn es darum geht, die Samen von Pflanzen zu verpacken. Denn Samen müssen so lange wie nötig vor Kälte, Hitze und anderem Übel geschützt bleiben. Sobald die Bedingungen aber passen, müssen sie keimen können. Das fasziniert Mi-

chaela Eder schon, seit sie 2011 ihre Forschungsgruppe am Potsdamer Max-Planck-Institut aufbaute. Seither ist sie an Materialien von Pflanzen interessiert, die sich unter extremen Bedingungen behaupten müssen. Mit ihrer Forschung will sie zum einen die Pflanzen selbst besser verstehen. Zum anderen möchte sie von den Pflanzen lernen, um synthetische Materialien, die extremen Bedingungen ausgesetzt sind, zu optimieren. Ursprünglich dachte die Forscherin an alpine Pflanzen, die mit extremer Kälte, UV-Strahlung und kurzen Vegetationsperioden klarkommen müssen – nicht zuletzt weil sie begeistert klettert. Materialwissenschaftlich interessanter erschienen ihr dann aber zunächst Gewächse aus einer anderen ökologischen Nische. Einer, die von Nährstoffknappheit, Trockenheit, Hitze und Feuer geprägt ist. „Hier waren die Banksien naheliegend.“



Banksien kommen fast ausschließlich in Australien vor. Dort müssen die Büsche und Bäume der Gattung ihre Samen gegen die regelmäßigen Buschfeuer schützen. „Als ich anfang, mich mit Samenkapseln zu beschäftigen, dachte man, dass diese sich erst bei 450 Grad öffnen“, sagt Michaela Eder. „Da habe ich mich gefragt, wie sie das machen, und vor allem, wie die Samen dabei geschützt werden.“

Die Forscherin hat dann jedoch bald herausgefunden, dass die Kapseln ihren Inhalt bei deutlich niedrigeren Temperaturen freigeben. Michaela Eder und ihr Team stellten allerdings auch schnell fest, dass die Art und Weise, wie die Gewächse ihrem Nachwuchs die besten Startchancen verschaffen, mindestens ebenso spannend ist wie die vermeintlich hohe Öffnungstemperatur der Samenkapseln. Denn Banksien haben einen ausgeklügelten Mechanismus entwickelt, damit sich

ihre Samenkapseln in ihrer unwirtlichen Umwelt genau zum richtigen Zeitpunkt öffnen und die Saat aufgeht. Michaela Eder hat vor allem die Samenkapseln von *Banksia attenuata* untersucht. Mit ihren beiden muschelförmigen Hälften sitzen die Kapseln unregelmäßig verteilt in einem Fruchtstand, der wie eine konische Flaschenbürste aussieht. Sie öffnen sich in zwei Schritten: Zunächst bildet sich zwischen den beiden Hälften ein schmaler Spalt, und zwar sobald ein Buschfeuer in Form von Asche wieder Nährstoffe in den kargen Boden bringt. Doch erst wenn es regnet, weitet sich der Spalt, sodass der Samen herausfällt. Den zweistufigen Öffnungsmechanismus bewerkstelligt dabei kein lebendes Gewebe, sondern allein das Material der Kapselwände, er ist gewissermaßen in dessen Struktur programmiert.

Schutz vor Eis und UV-Licht

Wie unbelebtes Pflanzenmaterial auf äußere Reize reagiert, ist Michaela Eders Spezialgebiet. Die Materialeigenschaften der Banksien-Kapseln enthüllten sie und ihr Team unter anderem mit einem Mikro-Computertomografen, der besonders feine Strukturen sichtbar macht. Auf den Scans dieses Geräts lassen sich deutlich drei Schichten der Kapselwände erkennen. In ihnen sind die Zellulosefasern jeweils anders orientiert. Genauer gesagt: Der Zellulosefibrillenwinkel in der mittleren Schicht ist größer als in der inneren, in der äußeren Schicht gibt es keine bevorzugte Orientierung. Daher zieht sich der mittlere Teil stärker zusammen als die anderen beiden, wenn die Samenkapsel reift und dabei trocknet. Dabei entstehen innere Spannungen, die freigesetzt werden, sobald ein Feuer durch das Biotop der Pflanze zieht – die Kapsel springt auf. Vollständig öffnet sich die Kapsel dann, wenn sie bei Regen feucht wird und danach wieder trocknet. An der Beschreibung, wie das genau funktioniert, arbeitet derzeit Friedrich Reppe, der ebenfalls in Michaela Eders Gruppe forscht. Klar ist, dass der Mechanismus ziemlich kompliziert ist und dass die

Quelleigenschaften der Zellulosefasern dabei eine Rolle spielen.

Ebenso raffiniert konstruiert wie manche Samenkapseln sind die wesentlich dünneren Samenschalen vieler Pflanzen. Sie umschließen den Embryo und das Endosperm, das diesen beim Keimen mit Nahrung versorgt, und schützen den Embryo vor Umwelteinflüssen – in alpinen Regionen zum Beispiel vor der Bildung von Eiskristallen und vor UV-Strahlung. Wenn das Wetter im Frühjahr stimmt, geben sie den Embryo jedoch frei. Da Samenschalen deutlich dünner sind als Samenkapseln, könnten sie sich besser als Inspiration für nachhaltige Verpackungsmaterialien eignen. Das ist auch ein Grund, warum sich Michaela Eder und ihre Gruppe zukünftig eingehender mit Samenschalen beschäftigen werden. Sie werden die Samenschalen von Pflanzen an extremen Standorten untersuchen – diesmal vor allem im Gebirge. Die Volkswagenstiftung fördert das Projekt über vier Jahre mit insgesamt knapp 1,2 Millionen Euro. Die Samenschalen selbst eignen sich zwar nicht für Verpackungen – sie sind zu winzig. Größer und reichlich verfügbar ist aber ein anderes Material: Baumrinde, womit sich das Team ja bereits intensiv befasst hat. Wenn die Forscherinnen herausgefunden haben, warum Samenschalen so widerstandsfähig sind, werden sie unter den mannigfaltigen Baumrinden nach solchen mit ähnlichen Eigenschaften suchen. So wird Rinde vielleicht doch noch zur nachhaltigen Verpackung – nicht für Menschen, aber für manche Ware, die heute in Plastik verkauft wird.

69



Johanna Hehemeyer-Cürten, Michaela Eder und Charlett Wenig (von oben) erforschen pflanzliche Materialien. Sie wollen nicht nur verstehen, wie sich Pflanzen für ihre ökologische Nische spezialisieren, sondern suchen auch nach Anwendungsmöglichkeiten für deren vielseitige Funktionsmaterialien.

GLOSSAR

ZELLULOSEFIBRILLENWINKEL
heißt die Neigung der Zellulosefibrillen zur Längsachse faserförmiger Pflanzenzellen. Dieser Winkel bestimmt maßgeblich die mechanischen Eigenschaften sowie das Quellverhalten von Pflanzenmaterial.



Die Polarstern hat während der ArcWatch-1-Expedition an einer Eisscholle festgemacht. Forschende bauen auf dem Eis Messgeräte auf und nehmen Proben, um die Auswirkungen des Klimawandels auf die Arktis zu untersuchen.

70 Max-Planck-Forschende kooperieren mit Partnern in mehr als 120 Ländern. Hier schreiben sie über ihre persönlichen Erfahrungen und Eindrücke. Christina Bienhold vom Max-Planck-Institut für Marine Mikrobiologie in Bremen war auf dem Forschungseisbrecher Polarstern für zwei Monate in der zentralen Arktis unterwegs. Als Co-Fahrtleiterin der ArcWatch-1-Expedition erreichte sie im Sommer 2023 den Nordpol.

90° 00' N. Leichter Nebel. Um uns herum ein Mosaik aus Schollen und offenem Wasser, so wie mittlerweile überall in der sommerlichen Arktis. Doch ein Blick auf die Positionsanzeige unseres Schiffs beweist: Wir befinden uns am Nordpol! Die Polarstern, die Anfang 1982 vom Stapel lief, erreicht den nördlichsten Punkt des Globus bereits zum siebten Mal. Für

mich und die meisten anderen an Bord ist es eine Premiere. Forschende und Besatzung stehen auf der Brücke, klatschen. Das Schiffshorn tutet. Es gibt Sekt. Unsere Fahrtleiterin Antje Boetius und unser Kapitän Stefan Schwarze halten eine Rede.

Die Polargebiete und die Tiefsee haben mich schon als Kind fasziniert. Mein Vater ist Biologe und war in der Bremer Politik tätig. Er arbeitete viel mit den meeresbiologischen Forschungsinstituten zusammen. Oft habe ich in seinem Büro Jahresberichte der Institute durchgeblättert und davon geträumt, einmal Meeresforscherin zu werden. Noch während meiner Schulzeit sammelte ich als Praktikantin am Alfred-Wegener-Institut, Helmholtz-Zentrum für Polar- und Meeresforschung (AWI) erste Erfahrungen.

Heute bin ich tatsächlich Wissenschaftlerin und erforsche die Bakteriengemeinschaften des Tiefseebodens. Indem sie zur Energiegewinnung verschiedene Elemente wie etwa Kohlenstoff umsetzen, spielen die Mikroorganismen der Tiefsee eine wichtige

Rolle in den globalen Stoffkreisläufen. Bisher wissen wir jedoch wenig darüber, welche Arten in der arktischen Tiefe vorkommen, wie sich die Gemeinschaften durch den Klimawandel verändern und wie sich das wiederum auf die Stoffumsätze auswirkt. Daher brauchen wir dringend Bestandsaufnahmen in zeitlichen Abständen, um die Veränderungen zu erfassen. Wir sammeln dafür Sedimentproben vom Meeresgrund. Anhand von Erbgutanalysen lassen sich später im Labor die Mikroorganismen in der Probe identifizieren.

Die Polarstern ist das größte Schiff der deutschen Forschungsflotte. Bereits im Jahr 2012 war ich auf einer Fahrt in die zentrale Arktis dabei, um Sedimentproben zu sammeln. Vergangenen Sommer hatte ich dann die Möglichkeit, als Co-Fahrtleiterin die ArcWatch-Expedition zum Nordpol zu begleiten. Insgesamt waren an der Fahrt 54 Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler und 43 Besatzungsmitglieder aus 15 Ländern beteiligt. Um die Zeit optimal zu nutzen, arbeiteten wir in Schichten – Tag und

NORDPOL

Nacht. Ein Vorteil dabei war die andauernde Helligkeit im arktischen Sommer.

Technisch waren wir auf der Polarstern bestens ausgestattet: Zum Sammeln von Sedimentproben hatten wir einen Mehrfachgreifer dabei. Ein moderner Kameraschlitten ermöglichte es, in großer Tiefe zu filmen. Damit sind auf unserer Expedition die allerersten Aufnahmen vom Meeresgrund direkt am Nordpol geglückt. Schwämme, Seegurken, Fische und Kopffüßer – die arktische Tiefsee ist ein Ort voller Leben! Besonders häufig sind die Igelwürmer, die kleinste Nahrungspartikel vom Sediment absammeln und dabei charakteristische sternförmige Spuren hinterlassen.

Insgesamt war die Expedition ein voller Erfolg – trotz erheblicher Probleme mit der Schiffstechnik: Das Bugstrahlruder war defekt, und damit fehlte uns ein wichtiges Manövrierelement, um das Schiff zu positionieren. Wenn wir unterwegs Station machen wollten, mussten wir daher improvisieren und die Polarstern mit

hilfe eines Eisankers an einer Scholle vertäuen. Trotz der Schwierigkeiten konnten wir große Teile unseres eng getakteten Forschungsprogramms realisieren. Viel Freizeit blieb uns dabei nicht, doch immerhin konnten wir sie vielfältig nutzen: An Bord gibt es ein Schwimmbad und eine Sauna, einen Fitnessraum und die Schiffsbar „Zillertal“. Und sogar eine Band hatte sich zusammengefunden, die „ArcWatchers“. Die Stimmung war hervorragend!

Seit den 1980er-Jahren hat die Arktis pro Jahrzehnt 12 Prozent ihres sommerlichen Meereises verloren – eine Fläche fast so groß wie Indien. Diese Veränderungen haben Auswirkungen bis in die Tiefsee, über die wir noch so wenig wissen. Das möchte ich mit meiner Forschung ändern. Meine ganze Familie unterstützt mich dabei: Während ich zwei Monate auf See war, haben sich mein Mann und die Großeltern um die Kinder gekümmert. Die sind jetzt fünf und acht Jahre alt. Ich wünsche mir, dass ich etwas von meiner Faszination für die Meere an sie weitergeben kann.



FOTO: PRIVAT

Christina Bienhold

43, ist Meeresbiologin und forscht in der HFG-MPG Brückengruppe für Tiefsee-Ökologie und -Technologie – eine Kollaboration zwischen dem Max-Planck-Institut für Marine Mikrobiologie und dem Alfred-Wegener-Institut, Helmholtz-Zentrum für Polar- und Meeresforschung (AWI). In ihrer Arbeit befasst sie sich mit der mikrobiellen Ökologie der Arktis und der Tiefsee.

FLASCHENPOST AUS DEM ALL

Im April 1960 richtet Frank Drake die 26-Meter-Antenne des Observatoriums Green Bank in den USA auf Tau Ceti und Epsilon Eridani. In den kommenden Wochen wird er die beiden Sterne täglich abhören. Denn der junge Radioastronom lauscht nach Signalen von außerirdischen Zivilisationen, die sich in seinem Teleskop verfangen könnten. Nach insgesamt 150 Stunden Messzeit bricht Drake dann sein „Ozma“ genanntes Projekt Ende Juli ab. Ein Funkspruch von Aliens? Fehlanzeige! Im ersten Teil ihres Buchs mit dem passenden Titel *Die unheimliche Stille* heften sich Harald Lesch und Harald Zaun an die Fersen jener Forschenden, die im Stil von Frank Drake nach der kosmischen Flaschenpost fahnden. Nicht weniger als 150 solcher Horchprogramme dürften es bis heute gewesen sein. Auch wenn alle bisher dasselbe Ergebnis zeitigten – nämlich nichts! –, so schildern die Autoren diese „Suche nach extraterrestrischer In-

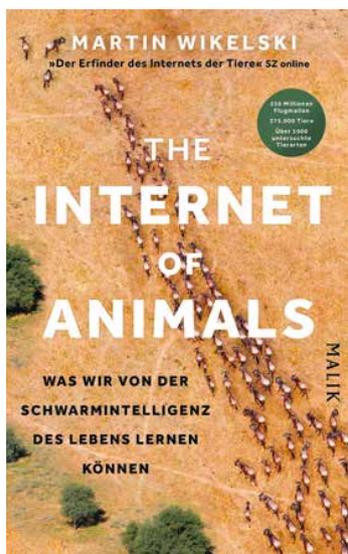
telligenz“ (Seti) lebendig, mit großer Detailfreude und bisweilen spannend wie ein Krimi. Dabei zieht sich die von dem Physiker Enrico Fermi im Jahr 1950 in lockerer Runde aufgeworfene Frage „Wo sind sie denn alle?“ als roter Faden vor allem durch den zweiten Teil des Buchs. Darin diskutieren Lesch und Zaun unter anderem die Frage, ob der Kontakt zu Außerirdischen überhaupt wünschenswert ist. Und sie machen schon im Vorwort klar: „Tatsächlich zweifelt heute kein ernst zu nehmender Intellektueller oder Wissenschaftler mehr an der Existenz hochstehender Kulturen im All.“

Helmut Hornung

Harald Lesch, Harald Zaun
Die unheimliche Stille
336 Seiten, Herder Verlag
24,00 Euro



72



TIERE AUF SENDUNG

Auf den ersten Blick haben Tierbeobachtungen und das sowjetische Satellitenprogramm Sputnik nicht viel miteinander zu tun. Den Ingenieur und Funkexperten Bill Cochran hat Sputnik jedoch dazu inspiriert, nicht nur den ersten Satelliten der Menschheit von der Erde aus mit selbst gebauten Antennen zu orten, sondern auch Tiere auf ihren Reisen zwischen Lebensräumen. Mit Techniken, die Forschende in den 1960er- und 1970er-Jahren für die Untersuchung Schwarzer Löcher entwickelt hatten, haben Bill Cochran und der Radioastronom George Swenson die Grundlagen der modernen Verhaltensforschung geschaffen. Martin Wikelski erzählt von den Anfängen dieser „Radiotelemetrie“ genannten Methode, die es Forschenden ermöglicht, die Signale besenderter Tiere zu orten, bis hin zur Entwicklung des satellitengestützten Systems zur Tierbeobachtung Icarus. Als Nachwuchswissenschaftler begleitete er die beiden Pioniere, stattete Kühe, Vögel und Insekten mit Sendern

aus und folgte den Signalen der Tiere mit dem Auto oder Flugzeug. Wikelski, inzwischen Direktor am Max-Planck-Institut für Verhaltensforschung in Konstanz, erzählt von skurrilen Begegnungen mit dem Seelöwen Caruso und frechen Reiseratten auf Galapagos, halsbrecherischen nächtlichen Verfolgungsjagden durch die amerikanische Prärie und der Suche nach einer besenderten Libelle – unablässig angetrieben vom Verlangen, das Verhalten der Tiere zu verstehen. Eine sehr amüsante und kurzweilige Reise durch mehrere Jahrzehnte wissenschaftlicher Entdeckungen und auch durch Wikelskis eigenen Lebensweg als Forscher.

Harald Rösch

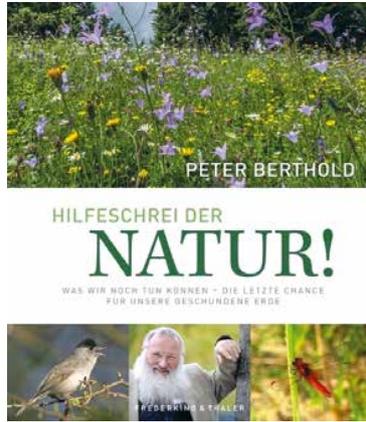
Martin Wikelski
The Internet of Animals
320 Seiten, Malik
25,00 Euro

REIF FÜR DIE INSEL

Der Natur in Deutschland geht es schlecht – Peter Berthold würde sogar sagen: Sie liegt im Sterben! Der frühere Direktor am Max-Planck-Institut für Ornithologie und Leiter der Vogelwarte Radolfzell hat noch nie drastische Worte gescheut, um den Zustand der Natur zu beschreiben. Berthold lamentiert jedoch nicht nur – er hat auch eine Lösung im Gepäck: ein engmaschiges Netz von Biotopen, die Tieren und Pflanzen den dringend benötigten Lebensraum bieten. In seinem neuesten Buch beschreibt er, wie ein solches Netz aus Rettungseinseln für die Natur gelingen kann. Nicht weiter als zehn Kilometer sollten die Inseln auseinanderliegen, damit die Arten von einer zur nächsten gelangen können. Bertholds Motto: „Jeder Gemeinde ihr Biotop“. Der von ihm initiierte Biotopverbund Bodensee mit seinen Weihern, Blühwiesen und Obstbäumen dient dabei als Blaupause. In reich bebilderten Kapiteln zu besonders wertvollen Lebensräumen in Deutschland wie Blühwiesen, Auwäldern und Kiesgruben offenbart Berthold, wie vielfältig die Natur sein kann, wenn der Mensch sie nur lässt. Die teils großformatigen Fotos sind es auch, die den Band zu einem wirklichen Erlebnis werden lassen. Sie spornen an, selbst aktiv zu werden, sei es auf dem eigenen Balkon oder im Garten.

Harald Rösch

Peter Berthold
Hilfeschrei der Natur!
208 Seiten, Frederking & Thaler
34,99 Euro



MYTHOS POMPEJI

Als der französische Dichter Stendhal im Jahr 1817 erstmals Florenz besucht, spielen seine Nerven verrückt: Die geballte Kunst und Geschichte sind einfach zu viel für ihn. Die Episode ist namensgebend für das sogenannte Stendhal-Syndrom – eine psychosomatische Störung, die in zeitlichem Zusammenhang mit einer kulturellen Reizüberflutung auftritt. Als Symptome nennt der deutsche Archäologe Gabriel Zuchtriegel in seinem Buch unter anderem Schwindel, Herzrasen, Atemnot und Ohnmacht. Ein Ort mit erhöhtem Gefährdungspotenzial ist neben Florenz zweifellos das antike Pompeji: Luxuriöse Villen und Tempel, Sklavenzimmer, Garhöfen und Bordelle – als im Jahr 79 der Vesuv ausbricht, versinkt die Stadt samt umliegender Landstriche unter einer meterhohen Schicht aus Asche und Bimsstein. So wird der Moment der Katastrophe eingefroren, bis Archäologinnen und Archäologen fast 2000 Jahre später anfangen, die Gebäude auszugraben. Alles andere als verstaubt beschreibt Gabriel Zuchtriegel, was für ihn die Faszination für sein Fach und speziell für Pompeji ausmacht, und ergründet,

was die Antike mit unserer Gegenwart zu tun hat. Der passionierte Altertumsforscher ist in der glücklichen Lage, jeden Tag durch die historischen Straßen schlendern zu können: Im Jahr 2021 wurde er zum Direktor der UNESCO-Weltkulturerbestätte Pompeji berufen. Die Lektüre macht große Lust, sich mit dem Buch im Gepäck nach Italien aufzumachen – selbst mit der Gefahr des Stendhal-Syndroms im Hinterkopf.

Elke Maier

Gabriel Zuchtriegel
Vom Zauber des Untergangs
240 Seiten, Propyläen Verlag
29,00 Euro



FÜNF FRAGEN

ZUR EUROPÄISCHEN SICHERHEITS- UND VERTEIDIGUNGSPOLITIK

AN CAROLYN MOSER



Frau Moser, Cyberattacken, Wahlbeeinflussung und militärische Drohungen: Welchen Gefahren sind die Mitgliedstaaten und die EU als Ganzes derzeit ausgesetzt – oftmals ohne sich dessen bewusst zu sein?

74 CAROLYN MOSER: Der Strategische Kompass der EU von März 2022 beschreibt die heutige Gefahrenlage recht treffend. An vorderster Stelle wird Machtpolitik als Bedrohung benannt. Zudem ist die Territorialverteidigung wieder relevant. Terrorismus und Extremismus bleiben ebenfalls akut. Und dann sind da natürlich noch die hybriden Angriffe. Die Gefahren, für deren Abwehr generell die Mitgliedstaaten zuständig sind, sind also vielfältig. Zugleich ergreifen auch EU-Institutionen sowohl rechtliche als auch politische Maßnahmen – Sanktionen werden auf EU-Ebene verhängt – oder geben wichtige Impulse, wie jüngst in der Rüstungsindustrie.

Die scheidende Kommission arbeitet an einem Defence-of-Democracy-Package. Welchen Schutz sieht dieses Paket vor, und wie bewerten Sie es?

Das Paket will demokratische Institutionen und Prozesse in der EU vor ausländischer Einflussnahme schützen. Einfallstore für eine solche Einflussnahme sind Lobbyismus und Parteienfinanzierung. Deshalb schlägt das Paket vor, eine einheitliche Transparenzregelung bezüglich Interessenvertretern aus Drittstaaten einzuführen, und macht auch Vorschläge zur transparenteren Parteienfinanzierung. Generell sollten

wir uns in der EU stärker gegen Akteure, unter anderem aus Drittstaaten, wappnen, die unsere demokratischen Grundfesten und unsere Gesellschaftsordnung zunehmend angreifen.

Sollte Ursula von der Leyen eine zweite Amtszeit als Kommissionspräsidentin bekommen, will sie eine Verteidigungskommissarin oder einen -kommissar ernennen. Was halten Sie davon?

Das ist sinnvoll, um Verteidigungsfragen in der EU aufzuwerten. Der russische Angriffskrieg gegen die Ukraine hat wie ein Elektroschock gewirkt. Nun will man die EU und ihre Mitgliedstaaten so schnell wie möglich verteidigungsfähig machen. Verteidigung bleibt in der EU jedoch eine Angelegenheit der Mitgliedsstaaten. Die Europäische Kommission ist sozusagen nur Zaungast – außer bei der Rüstungsindustrie. Wenn es nach der Kommission geht, sollen Rüstungsgüter zukünftig vorrangig gemeinsam und in der EU beschafft werden, was ein echter Paradigmenwechsel ist. Das neue Kommissionsmitglied hätte also einiges zu tun.

Wie sind wir in Europa im Angriffsfall geschützt? Gibt es ein europäisches Befehlskommando?

Im Falle eines Angriffs gilt das Selbstverteidigungsrecht, das auch eine kollektive Dimension beinhaltet. Andere Staaten können dem angegriffenen Staat also Hilfe und Unterstützung leisten beziehungsweise müssen dies im Rahmen bi- oder multilateraler Bei-

standsklauseln sogar. Die wirkmächtigste Beistandsklausel ist die der Nato, weil sie einen nuklearen Schutzschirm durch die USA bietet. Auch die EU verfügt über eine Beistandsklausel, aber ihre militärischen Strukturen sind rudimentär. Das kann sich jedoch ändern, wenn die transatlantischen Sicherheitsgarantien an Kraft verlieren.

Könnte Frankreich im Verteidigungsfall Nuklearwaffen abgeben und einem EU-Befehlskommando unterstellen?

Grundsätzlich kann ein Staat, der einem angegriffenen Staat Unterstützung leistet, frei über die eingesetzten Mittel entscheiden. Diese können humanitäre Hilfe, logistische Unterstützung, Waffenlieferungen, Kampfhandlungen und eben auch nukleare Verteidigung umfassen. Atomwaffen können angesichts bestehender völkerrechtlicher Verpflichtungen nicht einfach geteilt werden – dazu sind die meisten Atomstaaten auch nicht bereit. Seit dem Brexit ist Frankreich die einzige Nuklearmacht in der EU und auch die einzige in Europa, die unabhängig von den USA agieren könnte. Daher wird nun diskutiert, ob Frankreich seine nukleare Abschreckung mit anderen EU-Staaten teilen würde und zu welchen Konditionen. Von einer europäischen Atombombe sind wir aber weit entfernt ...

Interview: Michaela Hutterer

Carolyn Moser ist Forschungsgruppenleiterin am Max-Planck-Institut für ausländisches öffentliches Recht und Völkerrecht.

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

Niederlande

- Nimwegen

Italien

- Rom
- Florenz

USA

- Jupiter, Florida

Brasilien

- Manaus

Luxemburg

- Luxemburg



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
089 2108-1719 /-1276 (vormittags)
mpf@gv.mpg.de
www.mpg.de/mpforschung
Kostenlose App: www.mpg.de/mpfmobil

Verantwortlich für den Inhalt

Dr. Christina Beck (-1276)

Redaktionsleitung

Peter Hergersberg (Chemie, Physik, Technik; -1536)

Redaktion

Dr. Tobias Beuchert (Astronomie, Physik, Technik; -1404)
Michaela Hutterer (Kultur, Gesellschaft, -2617)
Dr. Elke Maier (Biologie; -1064)
Dr. Harald Rösch (Biologie, Medizin; -1756)

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

Bildredaktion

Susanne Schauer (-1562)
Annabell Kopp (-1819)

Konzeptionelle Beratung

Sandra Teschow und Thomas Susanka
www.teschowundsusanka.de

Gestaltung

GCO Medienagentur
Schaezlerstraße 17
86150 Augsburg
www.gco-agentur.de

Druck & Vertrieb

Vogel Druck & Medienservice GmbH
Leibnizstraße 5
97204 Höchberg

Anzeigenleitung

Beatrice Rieck
Vogel Druck & Medienservice GmbH
Leibnizstraße 5
97204 Höchberg
0931 4600-2721
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 allgemein verständlich aufzubereiten. Das Heft erscheint in deutscher und in englischer Sprache (MaxPlanckResearch) jeweils mit vier Ausgaben pro Jahr. Die Auflage dieser Ausgabe beträgt 75 000 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 e.V. unterhält 84 Institute und Forschungseinrichtungen, in denen rund 24 000 Personen forschen und arbeiten, davon etwa 13 000 Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler. Im Jahr 2023 betrug die Grundfinanzierung durch Bund und Länder 2,1 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.

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



MAX PLANCK
GESELLSCHAFT

